

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Variabilidad espacio-temporal de la temperatura superficial del mar  
entre cinco localidades costeras en la zona central de Chile  
( $29^{\circ}42'00''\text{S}$  –  $33^{\circ}58'00''\text{S}$ ).

Tesis para optar al título de Oceanógrafo  
por  
Gubbler Rodrigo Otárola Bello

Valparaíso  
2009

Comisión de Tesis:

Profesor Guía : M.Sc. Sergio Salinas Marchant

\_\_\_\_\_

Profesor : Dr. Boris Ramírez Reyes

\_\_\_\_\_

Profesor : Sr. Jaime Letelier Pino

\_\_\_\_\_

## AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar esta Tesis como último requisito para la obtención del título de Oceanógrafo, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de esta Tesis sólo con fines académicos.

---

Gubler Rodrigo Otárola Bello

*Dedicada a mi Tata Carlos y a mi Mamá, gracias a Uds. pude tomar este rumbo, el cual me llena por completo.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis dos amores, mis dos tesoros, Daniela y Vicente. Gracias al apoyo, amor, compañía y ayuda de mi niña he terminado este cometido, el cual nos costo bastante. Mi retoño Vicente, tú fuiste la razón más grande para dar los últimos esfuerzos, tu llegada ha marcado una razón muy grande para ganar cada vez más “batallas” en nuestras vidas.

Deseo agradecer a mi Mamá, tú siempre me diste palabras de aliento, nunca desconfiaste de mi potencial (quizás un poco oculto). Vieja, gracias por repetirme desde niño “*hijo, tú siempre puedes*”, estás simples palabras me dan constantemente la fuerza para realizar muchas sueños.

A Chelita, Fernando y mis hermanos, ustedes de alguna u otra forma me han apoyado en todos los momentos.

También deseo agradecer a mi nueva familia, los Olmos Iturrieta, ustedes con su alegría me ayudaron a cargar las baterías, las que muchas veces estuvieron bastante vacías.

Al MSc. Sergio Salinas M., que en mis años de Universidad me dio un espacio en el Laboratorio de Oceanografía Física y fue tutor de este trabajo.

Al Dr. Sergio A. Navarrete, por facilitarme gran parte de los datos utilizados en esta tesis y además por darme un espacio en la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), lo cual me ayudo a desarrollarme en el ámbito profesional.

Quiero agradecer al matrimonio Narváez-Piñones, gracias a su ayuda logré encaminar este trabajo y además me enseñaron a utilizar herramientas sin ningún reparo.

Al Dr. Boris Ramírez Reyes, quién aceptó de inmediato en conformar la comisión de trabajo y corrección de mi tesis.

Al Sr. Director del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, institución que mediante el Centro de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile facilitó datos de nivel del mar para el desarrollo de este trabajo de título.

A mi compañeros y amigos Juan, Jaime, Jorge, Mauricio (Barty), Marcela, Ricardo, Leonello, Alvaro y Raúl. Además no puedo dejar de mencionar a mis amigos Mauricio, Alejandro y Lorena, compañeros de muchas tertulias y momentos fascinantes.

No puedo dejar de mencionar a mi tata Carlos. Yo se que desde arriba estas muy feliz, ya que lograste que yo, tu hijo, terminara una tarea que siempre quisiste ver realizada.

## INDICE

Portada de presentación	
Comisión de tesis .....	i
Autorización de uso .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	iv
Índice .....	v
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos específicos .....	5
HIPÓTESIS .....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Área de estudio .....	7
Información utilizada.....	7
Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del Mar costero .....	9
Variabilidad del esfuerzo del viento meridional y nivel del mar ajustado .....	11
Relaciones entre esfuerzo del viento y nivel del mar ajustado sobre la TSMC.....	11
RESULTADOS .....	13
Descripción de las variables oceanográficas .....	13
Distribución del viento satelital para la zona de estudio .....	17
Nivel del mar ajustado (NMA) para la zona de estudio .....	20
Relaciones entre las variables estudiadas .....	20
Análisis espectral .....	23

Comparación entre series de tiempo de EVM, NMA y TSMC: análisis en el dominio de la frecuencia .....	23
DISCUSIONES .....	29
Estructura geográfica simple de los patrones de TSMC.....	29
Variabilidad espacial y temporal de la TSMC.....	30
Variabilidad del viento satelital y nivel del mar ajustado .....	32
Relación entre series de tiempo de nivel del mar ajustado (NMA), estrés del viento meridional (EVM) y temperatura superficial del mar costero (TSMC) .....	33
CONCLUSIONES .....	35
REFERENCIAS.....	37
FIGURAS .....	41
TABLAS .....	69

## RESUMEN

En este estudio se analizaron series de temperaturas superficial del mar costero (TSMC) pertenecientes a cinco sitios distribuidos entre los  $29^{\circ}42'00''\text{S}$  –  $33^{\circ}58'00''\text{S}$ , nivel del mar ajustado de los puertos de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, y viento obtenido del satélite QuickScat en puntos cercanos a los puertos nombrados, esto con el propósito de caracterizar patrones espaciales de variabilidad de la TSMC, determinar gradientes y quiebres espaciales e identificar los principales procesos forzantes que influyen los patrones de variabilidad espacio temporal de la TSMC.

Los resultados indican que no existe un decrecimiento lineal de la TSMC al aumentar la latitud (“estructura geográfica simple”) entre todos los sitios analizados, lo cual se diferenció tanto para datos filtrados (sin señal anual y semianual) como para datos sin filtrar, demostrando que su distribución a lo largo de Chile central no está influenciada solo por cambios estacionales (escala de 180 días), sino que pueden ser afectadas por procesos de mesoescala (surgencia costera, escala sinóptica) y remotos intraestacionales (escala de 50 días).

En el análisis estadístico de autocorrelación realizado a series de tiempo de TSMC no filtradas de 1192 días y 425 días, se observó que los patrones de TSMC de sitios con latitudes menores a  $30^{\circ}\text{S}$  (Arrayán, Temblador) existe una variabilidad estacional más marcada que en los sitios localizados a latitudes sobre los  $31^{\circ}\text{S}$ .

El análisis espectral de las series de tiempo no filtradas del estrés del viento meridional y temperatura superficial del mar costero, de los cinco sitios estudiados, fueron coherentes a bajas frecuencias, principalmente en la banda de los 0,06 cpd (16 días de periodo) con un rezago que fluctúa entre los 4 y 6 días.

En la banda intraestacional las series de tiempo de TSMC y NMA presentan picos asociados entre los 54 días y los 40,5 días de periodo, frecuencias que se asocian a oscilaciones de origen ecuatorial. Estas variables también presentan una relación asociada a frecuencia altas ( $\sim 0,4$  cpd) centradas en periodos de 2,4 días aproximadamente, las cuales son producto del forzamiento local que presenta el viento sobre estos parámetros. Con rezagos entre 1 y 2 días aproximadamente.



## ABSTRACT

This study analyzes Coastal Sea Surface Temperature (CSST) data series, collected between 29°42'00"S – 33°58'00"S, adjusted sea level for Coquimbo, Valparaíso and San Antonio ports and QuickScat Satellite wind data collected near the previous locations. The objective of this study was to characterize the spatial CSST variability patterns, calculate gradients of spatial breaks and identify the main forcing agents influencing these CSST spatial and temporal variability.

The obtained results indicate that there is no linear CSST decrease related to increasing latitude (simple geographical structure) among the analyzed locations. This feature was present on filtered as well as original data series, demonstrating that CSST distribution along central Chile is influenced not only by seasonal changes (180 days scale) but can be also affected by mesoscale (coastal upwelling, synoptic scale) and remote intraseasonal processes (50 days scale).

The autocorrelation statistical analysis performed on unfiltered CSST time series (1192 and 425 days length), concluded that CSST patterns at sites located in latitudes smaller than 30° S showed a greater seasonal variability than sites located on latitudes greater than 31°.

The spectral analysis on unfiltered meridional wind stress and CSST time series performed on five study sites were consistent (coherent) to lower frequencies, mainly within the 0,06 cpd (16 days period) with a lag fluctuating between 4 to 6 days.

The intraseasonal CSST and NMA time series present associated spikes between 54 and 40,5 days periods, frequencies associated with (related to) oscillations generated near the Equator. These variables also present a relation associated with high frequencies (~0,4 cpd) centered on 2,4 days periods approximately, which are produced by a local forcing created by the wind over these parameters with an approximate lag of one or two days.

## INTRODUCCIÓN

Las áreas productivas de los océanos han sido ampliamente estudiadas en las últimas décadas, evaluando sus características físicas, químicas y biológicas. Estas áreas, ubicadas principalmente en el borde oriental, presentan un alto contenido de nutrientes en la zona eufótica, bajas temperaturas en la superficie del mar y una disminución en profundidad del contenido de oxígeno, con respecto a lo observado en superficie (Thomas *et al.*, 2001; 2004).

Las características de la columna de agua que han sido descritas anteriormente se encuentran relacionadas con procesos de surgencia costera, el cual depende de factores tales como: intensidad del viento paralelo a la costa, forma de la línea de costa, topografía de la línea de fondo y sistema local de corrientes (Jara, 1992; Strub *et al.*, 1998).

De los factores nombrados anteriormente, el viento es el mecanismo forzante inicial, el cual al soplar paralelo a la costa y con dirección hacia el Ecuador produce una transferencia de momento al océano cuya respuesta es un transporte neto de las aguas superficiales hacia la izquierda (en el hemisferio sur), debido a la rotación de la Tierra (efecto de Coriolis). Al dirigirse las aguas hacia mar adentro, éstas son compensadas con otras aguas que suben desde profundidades de aproximadamente 200 a 400 m, las cuales presentan temperaturas más bajas a las observadas antes del proceso de surgencia (Summerhayes *et al.*, 1995; Letelier, 1998).

Los eventos de surgencia afectan tanto la distribución de la temperatura de la capa superficial, encontrándose valores más bajos en la costa que en el océano abierto (Wyrtki, 1967; González, 1998), como la distribución de nivel del mar, el cual se ve afectado debido a que las aguas que surgen, para reemplazar el agua advectada en superficie, son más densas. De esta manera por ajuste isoestático (debido al cambio de volumen específico del agua), se produce una leve baja en el nivel medio del mar durante la surgencia (Fonseca, 1977).

Los eventos de surgencia costera ocurren usualmente en casi todo el litoral, especialmente entre los 18°S y 38°S, debido principalmente a la orientación de la costa y al régimen de vientos imperantes, los que son resultado de la presencia del anticiclón subtropical del Pacífico sur oriental (Neshyba & Méndez, 1976; Bakun & Nelson, 1991; Bello, 2001). Fonseca (1977) describe este fenómeno como uno de los procesos costeros dinámicos más importantes en la zona central de Chile, que se presenta en forma temporal y aperiódica, siendo más significativo en la temporada de primavera-verano. Además, Smith (1992, 1995) encuentra una relación entre los focos de surgencia y la escala sinóptica de los vientos.

Con respecto a la variabilidad latitudinal de la surgencia, Strub *et al.*, (1998) describen diferentes regímenes de surgencia para la costa chilena, separándola en tres zonas, norte (18°- 35°S), centro (35°- 42°S) y sur (42°- 55°S). En la zona norte observaron que los vientos hacia el Ecuador, favorables a la surgencia, se encuentran presentes casi

todo el año debido a la alta presión del Pacífico sur, siendo de baja intensidad durante el invierno y fortaleciéndose durante la primavera y el verano austral (Strub *et al.* 1998). En la zona centro, entre los 35°S y 45°S, los vientos presentan una dirección norte debido a los frentes polares y una dirección sur debido al fortalecimiento del anticiclón subtropical del Pacífico Sur Oriental en el periodo estival, generando un ciclo estacional de la surgencia la que está presente entre fines de primavera y principios de otoño. En la zona sur, el viento se dirige casi todo el año hacia el este y noreste, por lo tanto, no origina procesos de surgencia, pero sí se observa una gran variabilidad estacional de la temperatura del mar. Los estudios de sensoramiento remoto sugieren que los efectos de la surgencia costera se limitan en general a los 60 km de línea de costa, con filamentos que se extienden ocasionalmente hasta 125 km de la costa (Barbieri *et al.*, 1995; Bello, 2001).

El análisis de distribución de temperaturas superficiales del mar muestra que existe una disminución latitudinal de sus valores asociados a la radiación solar, además de los cambios generados por los procesos de surgencia (Strub *et al.*, 1998). La diferencia de temperaturas entre regiones polares y ecuatoriales permanece constante como resultado de la transferencia de calor desde el Ecuador hacia latitudes altas, por movimiento de masas de aire y de agua (Thurman, 1988). Como la radiación solar pierde energía hacia latitudes más altas producto de la inclinación de la Tierra, la temperatura superficial del mar disminuye debido a la menor energía solar entregada al sistema y a los cambios estacionales, que son más marcados en latitudes medias (~ 25°S a 40°S).

En la costa central de Chile existe heterogeneidad en la distribución de temperatura superficial debido a diferentes procesos, los cuales suceden a diferentes escalas espaciales. Por ejemplo, a escala de miles de kilómetros existe una relación entre la temperatura y la latitud, la cual disminuye notablemente de norte a sur (Fonseca, 1987), lo que se relaciona con la variación de la radiación solar. En una escala menor, aproximadamente 15 km, Narváez *et al.*, (2003) encuentran en el periodo estival apreciables diferencias en las temperaturas superficiales entre Las Cruces y El Quisco de aproximadamente 1°- 2°C. A una escala muy parecida a la anterior, se observa un gradiente en la temperatura superficial de la bahía de Mejillones, detectando un incremento de la temperatura en aproximadamente 1,2°C con respecto a la observada en el foco de surgencia de punta Angamos. Esta anomalía de temperatura se puede relacionar a sombras de surgencia, que se caracterizan por ser una circulación de meso-escala que ocurre en áreas costeras bastante específicas: líneas de costa convexas, cabos con presencia de desembocaduras de ríos o puntas. En la actualidad su dinámica no está completamente clara, las sombras de surgencia ocurren en sectores donde la fuerza del viento se ve reducida, lo que produce que las aguas provenientes de la surgencia se calienten rápidamente, generando un fuerte frente termal entre las aguas que se encuentran al interior de la bahía y las cercanas al foco de surgencia (Graham & Largier, 1997; Marín *et al.*, 2003).

La información disponible sobre el periodo de respuesta de la surgencia, indica que el sistema de Benguela tiene una respuesta casi inmediata de la temperatura medida en la costa a cambios en el esfuerzo del viento (Taunton-Clark, 1985). En el caso de la costa chilena, Wieters *et al.*, (2003) observan que la temperatura superficial costera en Matanzas

(33°57'44"S, 071°52'37"W) y Quintay (33°12'33"S, 071°42'15"W) responde casi inmediatamente (menos de un día) al esfuerzo del viento paralelo a la costa, en los focos de surgencia de punta Toro y punta Curaumilla respectivamente. En cambio, en Las Cruces (33°30'06"S, 071°37'54"W), sitio localizado entre los centros de surgencia nombrados anteriormente, la respuesta de la temperatura superficial costera es más tardía (2-3 días), lo cual, se puede deber a la presencia de sombras de surgencia en la zona cercana al sitio antes descrito.

La variabilidad temporal observada por Narváez *et al.*, (2003) entre las localidades de Las Cruces y El Quisco (33°23'35"S, 071°42'11"W), separadas por una distancia de 15 km, indica que en ambos sitios existe una columna de agua mezclada y una homogeneidad espacial en los meses de invierno, seguida de un levantamiento de la termoclina en primavera, asociada con la intensificación de los vientos S y SW favorables a la surgencia en los periodos de verano. Sin embargo, detectaron grandes y persistentes diferencias en temperatura superficial, estratificación y concentración de clorofila "a", así como en la intensidad del viento, lo cual puede ser atribuible a las diferencias que presentan las líneas de costa.

La proyección del efecto de surgencia sobre la biota del primer eslabón trófico ha sido estudiado por Thomas (1999), quien al observar las variaciones latitudinales de clorofila "a", nota la presencia de una fuerte discontinuidad en la concentración de pigmentos alrededor de los 33°S, la cual muestra una mayor intensidad en otoño-invierno que en primavera-verano. Al sur de la discontinuidad el ciclo estacional de las concentraciones de pigmentos es más marcado y presenta mayores concentraciones. En este mismo sentido, Hormazábal *et al.*, (2004) estudian la propagación en el tiempo y el espacio de eddies de meso-escala en la Zona de Transición Costera (ZTC), la que separan en dos regiones. La región norte, entre los 19°-29°S, que presenta baja energía cinética, y una región hacia el sur de la ZTC, con alta energía cinética. Esta zona de discontinuidad descrita por Thomas (1999) y Hormazábal *et al.*, (2004) parece tener una fuerte incidencia sobre los ecosistemas marinos. Navarrete *et al.*, (2004) al estudiar la estructura y regulación de comunidades intermareales de *Perumytilus purpuratus* (mitílidos) y cirripedios *Chthamaloidea*, observan un abrupto cambio en el reclutamiento de estas especies alrededor de los 32°S y 33°S, obteniendo tasas mensuales con valores de uno hasta dos órdenes de magnitud menores hacia el norte. Este cambio está relacionado a las discontinuidades de los regímenes oceanográficos existentes en el Pacífico sudeste. Este quiebre afecta considerablemente a los adultos de las especies estudiadas, por lo tanto, influye en los patrones generales de la estructura comunitaria. Lagos *et al.*, (2004) analizaron datos de riqueza de invertebrados en 55 localidades a lo largo de Chile (18°15'S – 42°35'S) durante 1998-2000, y determinaron mediante una estimación secuencial de promedios espaciales que los patrones de diversidad local presentan la existencia de tres regiones, norte (norte de los 26°S), sur (sur de los 32°S) y transicional (entre los 26° y 32°S), que se diferencian tanto en el patrón de riqueza como de recambio de especies, lo cual puede estar ligado a la influencia de procesos oceanográficos tanto locales como de gran escala.

Sin embargo, existe una reducida información que muestre si las discontinuidades de gran escala se reflejan en discontinuidades de las condiciones oceanográficas costeras que influyen directamente a organismos litorales.

Este estudio tiene como objetivo caracterizar los patrones generales que tiene la distribución espacio temporal de la temperatura superficial del mar costero (TSMC) en la zona central de Chile entre los 29°42'S y los 33°58'S, reconociendo los principales procesos y/o agentes forzantes que influyen en ella en función de sus gradientes y quiebres (ZTC) de la variabilidad temporal de la TSMC y relaciones entre el viento, TSMC y nivel del mar.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Caracterizar patrones de variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar costero (TSMC) en función de los procesos forzantes, asociados al viento y nivel del mar, los que afectan su distribución en la zona central de Chile.

### **Objetivos Específicos**

- Caracterizar los patrones de variabilidad temporal y espacial de la temperatura superficial del mar costero (TSMC), el nivel del mar y el viento, en cada uno de los sitios estudiados.
- Evaluar la distribución latitudinal en los patrones de temperatura superficial del mar costera en cada sitio, en relación a su proximidad geográfica.
- Determinar el grado de asociación que existe entre la temperatura superficial del mar costera (TSMC), estrés del viento meridional (EVM) y el nivel del mar ajustado (NMA), para definir zonas oceanográficas de igual o diferente comportamiento, en distintas escalas de tiempo (diarias, sinópticas e intraestacionales).

## **HIPÓTESIS**

1. La temperatura superficial del mar costero (TSMC) está dominado por un decaimiento lineal con la latitud, el cual es modificado por procesos de meso-escala y discontinuidades que determinan la distribución espacial de los patrones de variabilidad de la temperatura costera en la zona central de Chile.
2. Existe una estructura geográfica simple entre las estaciones, es decir, entre más distantes los sitios, menor será el grado de correlación entre ellos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a la región de Chile central (Fig. 1) que se extiende entre los 29°42'S y los 33°58'S. A lo largo de esta región, se seleccionaron solo 5 sitios fijos, separados entre 10 y 146 km (Tabla 1), de entre 12 sectores, dado que la información oceanográfica no fue estadísticamente sustentable.

### Información utilizada

En el presente estudio se utilizó información de nivel del mar ajustado (NMA), presión atmosférica, temperatura superficial del mar en la costa (TSMC) y viento obtenido de mediciones satelitales, para el periodo comprendido entre 5/2/2000 y el 31/12/2003.

Las series de tiempo de temperatura superficial del mar costera (TSMC) se registraron en doce sitios costeros (Tabla 1) de los que se eligieron solo cinco, esto debido a que la información entre ellos presentó un intervalo de tiempo simultáneo más extenso. La información fue proporcionada por la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicada en el sector de Las Cruces. La base de datos se obtuvo con termistores (Stow Away Tidbits, 0.2° C de precisión, ONSET Computer Corporation), los cuales se instalaron en un bloque de concreto (Fig. 2), entre 0,5 y 1 m de profundidad aproximadamente. Los registros originales se realizaron a intervalos de tiempo de 5 y 20 minutos (dependiendo del sitio). Con estos datos se calcularon los promedios horarios y posteriormente los promedios diarios, siendo estos últimos los que se utilizaron.

Las series de TSMC correspondientes a los doce sitios se graficaron en función del tiempo, lográndose evidenciar la falta de datos en la mayoría de las series, debido principalmente a problemas logísticos. En algunos sitios las brechas de datos fueron superiores a los 3 meses, por lo tanto, debido a su extensión no fueron interpoladas, mientras que las brechas de datos entre 1 y 7 días se interpolaron linealmente. Para comparar tendencias interanuales y estacionales, se eligieron series de tiempo de temperatura con registros continuos (elegidas al observar visualmente las series de TSMC en función del tiempo) por aproximadamente tres años, seleccionando solo cinco sitios de entre los 12 originales, los cuales poseen mayor cantidad de datos en un mismo periodo de tiempo. Estos sitios (Fig. 3) son Arrayán (29°30'25"S), Los Molles (32°14'36"S), punta Curaumilla (33°06'05"S), Las Cruces (33°30'06"S) y Matanzas (33°57'44"S). La serie de tiempo continua para estos sitios se distribuye entre el 5/02/2000 hasta el 12/5/2003. Cabe señalar, que de aquí en adelante se hablará de datos filtrados, a los que se les extrajo la señal anual y semi-anual y de datos no filtrados a las series solo sin tendencia. Estos sitios presentaron pequeñas brechas, que fueron interpoladas con datos de los sitios más cercanos. La metodología que se utilizó para la interpolación fue, primero graficar las series de tiempo con el fin de comparar visualmente las curvas y observar las semejanzas entre las



tendencias temporales. Posteriormente, cada serie de TSMC fue dividida por año y estos trozos por estación. Se calculó el promedio a cada trozo estacional y este resultado se se restó al segmento estacional desde donde se obtuvo, esto con el propósito de estandarizar la serie de datos; de esta forma se obtuvieron anomalías de TSMC por estaciones de cada sitio. A continuación, se identificaron las brechas y se rellenaron con los datos de anomalía de temperatura del sitio más cercano y con mayor correlación, de este modo se obtuvo una serie continua de anomalía de temperatura estacional. Finalmente, se obtuvo una serie de temperatura superficial estacional para el sitio corregido, sumando el promedio del segmento estacional (con brechas) a la serie continúa de anomalías estacionales de temperatura, luego se unieron todos los trozos para formar las series divididas inicialmente. Con este procesamiento se obtuvieron series continuas entre el 5/2/2000 y el 31/12/2003, para los cinco sitios de estudio seleccionados para este análisis.

Las series de tiempo de viento fueron obtenidas de mediciones del satélite QuickSCAT. Estos datos corresponden a una grilla equiespaciada con una resolución de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , ubicada entre las latitudes  $17^\circ 45'S$  y  $39^\circ 45'S$ , y las longitudes  $070^\circ 15'W$  y  $075^\circ 15'W$ . Los datos utilizados corresponden a velocidad del viento (zonal y meridional) en cm/s y de esfuerzo meridional del viento, los que se localizaron en los puntos geográficos más cercanos a los sitios de estudio. Todas las series de tiempo se graficaron para observar posibles datos erróneos, datos escapados y la continuidad de la serie, es decir, identificar brechas de datos. Los datos faltantes que fluctuaron entre 1 y 4 días, se interpolaron linealmente.

Para evaluar el efecto del nivel del mar ajustado sobre la TSMC, se obtuvieron series de tiempo de nivel del mar entre los años 1997 y 2003. Esta información fue proporcionada por Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (S.H.O.A). Los registros elegidos correspondieron a los obtenidos de las estaciones de marea localizadas en los puertos de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio. Estas estaciones se seleccionaron por estar dentro del área de estudio.

Los datos de alturas del nivel del mar originales corresponden a promedios diarios en centímetros, los cuales en periodos faltantes de menos de 5 días fueron interpolados linealmente. En brechas mayores se ocuparon datos de las estaciones más cercanas, calculando las anomalías del nivel del mar y la correlación cruzada entre los sitios para ver el rezago en días entre una serie y otra. Después de las correcciones e interpolaciones de datos faltantes, fue necesario corregir el efecto de cambios de presión atmosférica sobre el nivel del mar.

Las series de presión atmosférica ( en milibares) fueron obtenidas de los registros del CENDHOC (Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile) dependiente del S.H.O.A, para la estaciones de Coquimbo entre los años 1997 y 2002; Valparaíso y San Antonio entre los años 1999 y 2002, siendo complementados los registros entre los años 1997 y 1998 con datos de presión atmosférica satelital, obtenidos de forma gratuita desde el sitio web (<http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/NCEP-NCAR/CDAS-1/DAILY/.Intrinsic/MSL/.pressure/>) dependiente de las instituciones

estadounidenses National Centers for Environmental Prediction (NCEP) y National Center for Atmospheric Research (NCAR), ambas a su vez administradas por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Esta información corresponde a una grilla de presión atmosférica de 2,5° x 2,5° de latitud. La información correspondiente a cada estación se obtuvo calculando promedios ponderados entre latitudes, se extrajeron las series de tiempo para cada sitio con datos faltantes. Con los datos de presión atmosférica se corrigieron los valores de nivel del mar, utilizando el método de barómetro invertido. Este método consiste en restarle 1 cm al nivel del mar por cada milibar de presión atmosférica (Pizarro *et al.*, 1994). Al nivel del mar calculado de esta forma se denomina nivel del mar ajustado (NMA).

### **Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar costero (TSMC)**

Para caracterizar las variaciones espaciales y temporales de la TSMC, se calcularon los promedios diarios para las series correspondientes a cada sitio, los que fueron posteriormente filtrados con el propósito de extraer tendencias lineales y reconocer variaciones anuales y estacionales. El estudio se complementó con el análisis de las series a una escala de variación sinóptica (2 a 10 días). Para obtener los registros entre este intervalo de tiempo, se utilizó un filtro pasa-banda coseno de Lanczos (Jones *et al.*, 1998; Emery & Thomson, 2001), con el cual se obtuvieron los pesos para luego filtrar la serie obtenida anteriormente (sin tendencia lineal, variaciones anuales y estacionales).

Luego de obtener las series filtradas de TSMC en cada sitio (serie sin variación anual y estacional, serie sinóptica y series con solo variación anual y semianual con respecto de la original), se calcularon las varianzas, esto con el propósito de obtener los porcentajes que explican cada serie con respecto de la señal original. La forma de calcular estos porcentajes fue la siguiente:

$$V\% = \frac{\text{Varianza Serie Filtrada}}{\text{Varianza Serie Sin Filtrar}} \times 100$$

Los porcentajes de varianza de TSMC de las series filtradas con respecto a la serie original, de cada sitio, se analizaron latitudinalmente, con el propósito de observar cual fue la escala de variabilidad (sinóptica o anual y estacional) más característica de cada sitio, buscando detectar similitudes o diferencias entre sitios cercanos o alejados geográficamente.

Los cálculos de los promedios diarios fueron reforzados con el cálculo del promedio mensual para detectar las variaciones anuales durante el periodo de estudio, construyendo básicamente una “climatología” para cada sitio. Para observar las posibles diferencias entre los periodos estacionales de los años estudiados, las series de tiempo fueron divididas por estaciones y graficadas de forma separada por año, es decir, cada sitio fue graficado estacionalmente a diferentes años.

Con el fin de observar tendencias de largo plazo o interanuales (dentro de los límites del periodo de estudio) en TSMC, NMA y esfuerzo meridional del viento (EMV), en cada sitio se ocuparon las rectas de tendencias lineales obtenidas al filtrar las series originales. Estas series de tiempo se graficaron de norte a sur, con el propósito de observar diferencias o similitudes entre localidades y latitudinalmente. Además, se obtuvo el valor de la pendiente y el error estándar.

Un método para observar la variabilidad en el tiempo de la TSMC (y las otras variables utilizadas en el estudio), es ocupando la función de autocorrelación. Uno de los estadísticos más ocupados es el coeficiente de correlación entre dos muestras de datos x e y

$$x = (x_i) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$y = (y_i) = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$$

que se define como

$$R = \frac{n \left( \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i \right) - \left( \sum_{i=0}^{n-1} x_i \right) \left( \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right)}{\sqrt{n \left( \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2 \right) - \left( \sum_{i=0}^{n-1} x_i \right)^2} \sqrt{n \left( \sum_{i=0}^{n-1} y_i^2 \right) - \left( \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right)^2}}$$

donde n es el numero de datos estadísticamente independientes en cada serie (pares de observaciones). La primera extensión de esta formula creara una función de autocorrelación. Asumiendo que  $x = x(t)$ , entonces la función de autocorrelación para una serie de datos en función del tiempo puede definirse como

$$R(\Delta t) = \frac{n \left( \sum x(t) x(t + \Delta t) \right) - \left( \sum x(t) \right) \left( \sum x(t + \Delta t) \right)}{\sqrt{n \left( \sum x(t)^2 \right) - \left( \sum x(t) \right)^2} \sqrt{n \left( \sum x(t + \Delta t)^2 \right) - \left( \sum x(t + \Delta t) \right)^2}}$$

Esta función de autocorrelación es una función del retraso de tiempo (o lag) entre la primera muestra de la serie de tiempo y la segunda. Así como en el cálculo del coeficiente de correlación R, el tamaño de las dos muestras debe ser el mismo (las sumatorias deben tener los mismos límites). La función de autocorrelación también puede ser calculada en función del rezago-espacio (retraso en el espacio). Esta función permite al observador determinar que muestras son estadísticamente independientes en el tiempo y en el espacio. Dos puntos estadísticamente independientes en el espacio-tiempo están separados al menos por una decorrelación (correlación no significativa) en el tiempo o en el espacio (Simons, 2001).

## **Variabilidad del esfuerzo del viento meridional (EVM) y nivel del mar ajustado (NMA)**

La variabilidad temporal del NMA, EVM y TSMC fueron procesadas de acuerdo a un análisis en el dominio de la frecuencia, calculando las funciones de densidad espectral o autoespectro siguiendo el procedimiento descrito por Bendat & Piersol (1986), a fin de obtener una estimación más representativa de los fenómenos físicos que puedan estar ocurriendo. Las series de diferentes datos fueron divididas en trozos iguales, y para cada uno fue calculado el poder espectral (Pizarro *et. al.*, 1994).

Las estimaciones espectrales fueron suavizadas con el propósito de obtener una estimación espectral más representativa del fenómeno físico involucrado y una mayor confiabilidad estadística. El método de suavizamiento fue promediando las estimaciones espectrales dentro de un rango de frecuencias. Cada estimación espectral es gobernada por una distribución Chi-cuadrado con dos grados de libertad, asumiendo que cada estimación espectral es independiente, al utilizar este tipo de suavizamiento, los grados de libertad serán iguales al doble del número de estimaciones dentro de la banda de frecuencia considerada (Hormazábal, 1994).

El intervalo de confianza de las estimaciones espectrales se determinó según lo propuesto por Jenkins & Watts (1968).

Con el propósito de observar si existe una diferencia entre el poder espectral obtenido de los sitios localizados más al norte, con los ubicados al sur de los 32°S, se graficaron los datos obtenidos de la suma acumulativa del resultado de la estimación espectral de cada serie de TSMC, lo cual se nombrará como espectros acumulados.

## **Relaciones entre esfuerzo del viento y el nivel del mar ajustado sobre la temperatura superficial del mar**

Las series de tiempo de EVM y de NMA, al igual que las series de TSMC, se filtraron a fin de remover la tendencia lineal, la señal anual, la señal semianual y la señal sinóptica. Luego se aplicó un análisis de correlación cruzada con un intervalo de confianza de un 95% entre sitios y entre diferentes variables. Esta herramienta estadística consiste en la correlación entre dos series temporales, la que determina la dependencia de una serie sobre otra desplazada en función del tiempo. De esta forma se pudo observar la máxima correlación existente entre las variables, y el desfase en el tiempo entre ellas, estableciendo el nivel de interrelación entre variables. Para este tipo de análisis se utilizó el procedimiento descrito por Bendat & Piersol, (1986).

Una forma de analizar las relaciones que existen entre las TSMC, EVM y NMA en la escala temporal y espacial es mediante un análisis de coherencia y fase. El procedimiento utilizado es el descrito por Bendat & Piersol (1986).

El intervalo de confianza utilizado para la fase fue el sugerido por Jenkins y Watts (1968), el cual es una función de la coherencia cuadrada. El nivel de significancia de la coherencia, asumiendo que la serie presenta una distribución normal, se determinó mediante la relación dada por Godman (1957).

$$C^2 = 1 - \alpha^{(1 - ((n/2) - 1))}$$

donde  $\alpha$  es el nivel de significancia y n son los grados de libertad (g.l) empleados para la estimación de la coherencia cuadrada.

## RESULTADOS

Los resultados presentados describen la distribución de temperatura, viento y nivel del mar ajustado a lo largo de toda el área de estudio (desde los 29°42'S hasta los 33°58'S), aplicando posteriormente un análisis de las autocorrelaciones y las correlaciones cruzadas existentes entre temperaturas, componente meridional del viento y nivel del mar ajustado. Posteriormente se analizaron comparativamente en el dominio de la frecuencia, los espectros de energía, de coherencia y fase de las variables de estudiadas.

### Descripción de las variables oceanográficas

#### Temperatura

Las series originales de promedios diarios de temperaturas superficiales del mar en la costa medidas en los cinco sitios mostraron claramente una señal anual (variabilidad estacional), que fue mayor en los meses de verano y menor en invierno (Fig. 3).

La serie de tiempo continua para estos sitios se distribuye entre el 5/02/2000 hasta el 12/5/2003. Cabe señalar, que de aquí en adelante se hablará de datos filtrados, a los que se les extrajo la señal anual y semi-anual y de datos no filtrados a las series solo sin tendencia.

*Distribución general de las temperaturas superficiales del mar en la costa para los cinco sitios elegidos.*

En las cinco series se definieron los máximos de TSMC entre los meses de enero y marzo y mínimos entre los meses de julio y septiembre (Fig. 4). Cabe destacar la presencia de aumentos de temperatura entre los meses de mayo y junio, los cuales fueron más pronunciados en el año 2002. Sin embargo no se observó muy claramente en la estación de más al norte (Arrayán).

En Arrayán se observó una máximo de temperatura de 18,82 °C en enero del 2003, y un mínimo de 12,24°C en agosto del mismo año.

En Los Molles la temperatura máxima fue de 19,50°C en marzo del 2002, y la mínima de 10,80°C en junio de 1999.

En punta Curaumilla se observó un máximo de 18,20°C en febrero del 2001, y un mínimo de 10,30°C en septiembre del 2003.

En Las Cruces el máximo de temperatura fue 18,50°C a fines de febrero del 2002 mientras que el mínimo fue de 10,40°C a fines de julio del 2001.

En Matanzas se observó un máximo de temperatura casi en el mismo periodo observado en Las Cruces, con un valor de 18,70°C, en cambio, el mínimo fue en junio del 2002, con un valor de 10,70°C.

*Distribución de promedios estacionales de temperatura superficial del mar en la costa por año.*

La distribución del valor promedio estacional por año y sitio de registro, se presentan en las figuras 5 a 8. En primavera (Fig. 5) sus resultados indicaron valores promedios de TSMC mayores en el sector norte (Arrayán), caracterizados por una distribución más homogénea y con reducida variabilidad temporal. Por el contrario, menores valores promedios de TSMC se detectaron tanto frente a punta Curaumilla como a Matanzas, con una distribución irregular de sus valores en función del año de muestreo. Los sectores intermedios de Los Molles y Las Cruces (ECIM) presentaron una variabilidad geográfica normal, destacándose un aumento de las TSMC en aproximadamente 1°C entre el año 2000 y el año 2001 (Tabla 2).

En las épocas de verano (Fig. 6), se observaron valores de TSMC promedios mayores para Arrayán y menores asociados a punta Curaumilla y Matanzas. Se registró un incremento de las TSMC promedio para la mayoría de los sectores, entre los años 2000 y 2002, con un posterior decrecimiento en el 2003. En Arrayán, al contrario de los otros sitios, el incremento de temperatura se presentó en el transcurso de los casi 4 años de registros (Tabla 2).

En los periodos de otoño e invierno (Figs. 7 y 8), se mantuvo el patrón de distribución de temperaturas indicado en los dos casos anteriores, es decir, valores promedios de TSMC mayores para Arrayán y menores para los sitios de punta Curaumilla y Matanzas. Además, se destaca en invierno un aumento de las temperaturas promedio, en casi todos los sitios, en el año 2001, observándose una mayor diferencia en los sitios de Los Molles y Las Cruces (Tabla 2).

*Variabilidad espacial de la temperatura superficial en la costa utilizando correlaciones cruzadas (c.c.).*

El análisis de correlación cruzada entre los datos de TSMC filtrados (tendencias lineales, variaciones anuales y estacionales) y no filtrados de los 5 sitios elegidos (Arrayán, Los Molles, punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas) se realizó con el propósito de detectar si existe una estructura geográfica simple entre las estaciones, es decir, si entre más distantes los sitios, menor será la correlación entre ellos.

En las series filtradas, el rango de valores para correlaciones (Tabla 3) fluctuaron entre un mínimo de 0,31 para la distancia Arrayán-Matanzas y un máximo de 0,74 para la separación geográfica entre punta Curaumilla - Las Cruces. En general, los valores de la correlación cruzada disminuyeron con respecto a la distancia entre casi todos los sitios, por

lo tanto, se cumplió la hipótesis de una estructura geográfica simple entre los sitios de Arrayán, punta Curaumilla y Las Cruces. Sin embargo, entre Los Molles y Matanzas no se observó dicha relación geográfica, ya que se obtuvieron valores de correlación entre sitios más distantes mayores a los calculados entre sitios más cercanos. Por ejemplo, la máxima correlación entre Los Molles-Matanzas (194 Km de distancia) es de 0,67, valor mayor al observado entre Los Molles-Las Cruces (140 Km de distancia) que fue de 0,62.

En la serie de datos no filtrados los valores de máximas correlaciones de TSMC (Tabla 4) de TSMC, fueron diferentes a los observados en el párrafo anterior, ya que en este caso solo se identifica una estructura geográfica simple en punta Curaumilla, mientras que en los otros cuatro sitios no se cumple. Por ejemplo, la correlación entre Las Cruces y punta Curaumilla es de 0,73, existiendo una distancia de 43 Km entre las localidades, mientras que entre Las Cruces y Los Molles la correlación es de 0,77 con una distancia de separación de 140 Km.

#### *Autocorrelaciones de series de temperatura superficial del mar de la costa*

La variabilidad en el tiempo de las series de TSMC se evaluó a través de la función de autocorrelación para las series filtradas y no filtradas de los cinco sitios con mayor intervalo de tiempo continuo de muestreo (1192 días).

Las series de tiempo no filtradas (Fig. 9) presentaron claramente un patrón de periodos cálidos y fríos (primavera – verano y otoño – invierno, respectivamente) en las estaciones de Arrayán, Los Molles, Las Cruces y Matanzas. En punta Curaumilla la variabilidad estacional no fue muy marcada.

El patrón de periodos cálidos y fríos se refleja en los valores de correlación, ya que estos dejaron de ser significativos (al 95% de confianza) entre los días 1 y 90 (periodo cálido), luego entre aproximadamente 90 y 275 (periodo frío completo) para finalizar entre los días 275 y 365 aproximadamente (segundo periodo cálido de 90 días) en casi todos los sitios.

Para observar las diferencia que existe entre las curvas de los autocorrelogramas, se indicará entre que días disminuyen los valores de correlación, ocupando rangos de valores que serán entre  $[1 - 0,6]$  y entre  $[0,6 - 0,3]$ .

Para el caso de Arrayán, la curva de decorrelación entre  $1 - 0,6$  fue entre los días 1 y 30. Entre los días 30 y 64 los valores disminuyeron gradualmente entre  $0,6 - 0,3$ . Pasado el día 64 la decorrelación disminuyó (casi en forma lineal) hasta dejar de ser significativa cerca del día 90. Entre el día 90 y el 277 los valores de autocorrelación fueron negativos pero significativos en casi todo este rango de tiempo, el cual corresponde al período frío antes indicado. Posterior a esto, los valores aumentaron en forma gradual hasta alcanzar un valor de correlación igual a 0,53 (día 365).



En Los Molles la decorrelación entre los valores de  $1 - 0,6$  fue entre los días 1 y 7 aproximadamente. Entre los días 7 y 31 los valores fueron entre  $0,6 - 0,3$ . Posteriormente la curva se mantuvo con valores que fluctuaron entre 0,30 y 0,32 hasta el día 55. Pasado el día 55 los valores de correlación disminuyeron dejando de ser significativos cerca del día 90. Entre el día 90 y el 283 los valores de autocorrelación fueron negativos pero significativos en casi todo este rango de tiempo. Posterior a esto, los valores aumentaron hasta alcanzar un valor de 0,36 el día 365.

En el sector de Las Cruces (ECIM), se observó que los valores de decorrelación correspondientes al primer rango [ $1 - 0,6$ ] fluctuaron entre los días 1 y 9, mientras que en el segundo rango de valores [ $0,6 - 0,3$ ], se distribuyeron entre los días 9 y 33. Desde el día 33 hasta el 97 la autocorrelación fue significativa. Entre el día 97 y el 271 los valores de autocorrelación fueron negativos pero significativos en casi todo este rango de tiempo. Posterior a esto, los valores aumentaron en forma gradual hasta alcanzar un valor de 0,29 el día 365.

En Matanzas la decorrelación entre los valores de  $1 - 0,6$  fue entre los días 1 y 5 aproximadamente. Entre los días 5 y 23 los valores fueron entre  $0,6 - 0,3$ . Desde el día 23 hasta el 89 la autocorrelación fue significativa. Entre el día 89 y el 275 los valores de autocorrelación fueron negativos pero significativos en casi todo este rango de tiempo. Posterior a esto los valores aumentaron en forma gradual hasta alcanzar una autocorrelación de 0,31 el día 365.

Para el caso de punta Curaumilla se observa que la temperatura se decorrelaciona desde 1 a 0,3 en un periodo cercano a los 15 días, luego de esto la autocorrelación se mantiene con valores de aproximadamente 0,2 aumentando levemente el día 50 para luego decaer a 0 alrededor del día 113 hasta alcanzar valores negativos. Al contrario a lo observado en los otros sitios, los valores de autocorrelación negativos significativos no presentan el mismo tipo de distribución en el tiempo, distinguiéndose tres picos negativos y no solo uno como en los otros casos. Al aumentar el rezago en días, los valores positivos son significativos entre los días 300 y 325, y entre los días 337 y 365, no mostrando valores mayores a 0,3.

Comparando las autocorrelaciones realizadas a las series filtradas de los cinco sitios escogidos, con la aplicada a series de menor tamaño (425 días) de nueve sitios con valores continuos (Fig. 10), se observó una mayor permanencia de la temperatura en el tiempo (decorrelación menos rápida) en los sitios de Temblador y Arrayán, indicando una mayor estacionalidad de la TSMC. Desde punta Talca al sur se observó que la decorrelación de la temperatura deja de ser significativa entre los días 20 y 25 aproximadamente. En Los Molles, Montemar, Las Cruces y Matanzas entre aproximadamente los 90 y 275 días se observaron valores de autocorrelación negativos (entre -0,2 y -0,3) posiblemente asociados a periodos fríos, pero en este caso los autocorrelogramas son menos evidentes que los obtenidos en los sitios de Temblador y Arrayán. Desde Los Molles hacia el sur, se observó en los autocorrelogramas un aumento de los valores de negativos a positivos, entre los 50 y 75 días, no llegando a ser mayores a 0,2. Además en estos sitios, entre aproximadamente el

día 1 y el día 40 se decorrelacionan los valores desde 1 hasta 0, contrastando con lo observado en los dos sitios de más al norte, lo cuales se decorrelacionan entre estos mismos valores desde el día 1 al 90.

En los autocorrelogramas (Fig. 11) de series filtradas (sin tendencia, variabilidad anual y estacional) se observó que los valores dejan de ser positivos el día 22 en el sector de Arrayán, día 26 para Los Molles, día 21 para punta Curaumilla, día 25 para Las Cruces y día 21 para Matanzas. Posterior a estos días, los valores de autocorrelación no superaron los 0,2 puntos de correlación, presentándose picos esporádicos muy cercanos al nivel de significancia.

*Variabilidad de las series filtradas de temperatura superficial del mar en la costa con respecto de la serie de temperatura original.*

Con el propósito de explicar que tan preponderante son los distintos tipos de señales (anual, estacional y sinóptica) sobre los registros TSMC de los cinco sitios estudiados, se calculó el porcentaje de la varianza que explica cada señal con respecto de la serie original, resumida en Tabla 5.

Los porcentajes de variabilidad anual y semi-anual con respecto de la serie sin filtrar de temperaturas para los sitios escogidos fueron de 68,67%, 37,51%, 18,47%, 40,17% y 34,98% respectivamente (sitios desde norte a sur).

Los porcentajes de la serie sin variabilidad anual y semi-anual con respecto de la serie sin filtrar de temperaturas para los cinco sitios escogidos fueron de 25,98%, 60,57%, 75,62%, 58,26% y 63,08%. Cabe destacar que la serie filtrada en este caso tiene incluida la señal sinóptica.

La serie sinóptica con respecto de la serie filtrada presentó valores de porcentajes de variabilidad de temperatura de 10,19% en Arrayán, 11,61% para Los Molles, 14,91% en punta Curaumilla, 7,07% para Las Cruces y 16,54% para Matanzas.

### **Distribución espacio temporal del viento satelital**

El análisis del efecto del viento sobre las distribuciones de TSMC en la zona de estudio, se realizó utilizando registros de viento obtenidos del satélite QuickScat durante el periodo de estudio de los sitios de TSMC elegidos (entre años 2000 y 2003), correspondientes a los puntos de la grilla más cercanos a los puertos de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio (Fig. 12). A estas series de tiempo se les aplicó estadística básica, esto con el objetivo de obtener rangos de magnitud y dirección del viento para una rosa de 8 direcciones y de esta forma poder caracterizar cada sitio en términos de frecuencia y porcentajes de ocurrencia.

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los datos originales, es decir, a éstos no se les aplicó ninguna clase de filtro temporal (estacionalidad y semi-estacionalidad), solo se removió la tendencia temporal de los datos (la cual debido a la longitud de las series de tiempo diarias no es mayormente preponderante).

- Coquimbo (29°45'00"S – 071°45'00"W)

La frecuencia (en porcentaje) de dirección y magnitud del viento para Coquimbo se graficó en forma de histogramas en la figura 13 para un periodo de tiempo comprendido entre los años 2000 y 2003. Se observó que las velocidades del viento se distribuyeron entre los 0 y 15,9 m·s<sup>-1</sup>. Los porcentajes de frecuencia de magnitud no superaron el 11%, siendo los valores más característicos entre los 3 m·s<sup>-1</sup> y los 8,9 m·s<sup>-1</sup> (valores superiores a 8% de frecuencia). La dirección predominante correspondió a los vientos desde el sur, alcanzando una frecuencia máxima de un 79,5%. Las direcciones generales desde el N, E y W no superaron una frecuencia del 10%.

En la Tabla 6, se observó que la velocidad máxima para Coquimbo fue de 15,8 m·s<sup>-1</sup>, con dirección hacia el S, con una media de 7,5 m·s<sup>-1</sup> y una desviación estándar de 2,9 m·s<sup>-1</sup>. Cabe señalar que para las direcciones N y NE se observan velocidades 13,1 y 13,3 m·s<sup>-1</sup> respectivamente, pero solo corresponden a un evento por cada dirección, al contrario de lo observado en dirección S, que entre ese intervalo de velocidades presenta aproximadamente 50 eventos.

- Valparaíso (33°15'00"S – 071°45'00"W)

Los porcentajes de frecuencias de dirección y magnitud del viento para Valparaíso se graficaron en la Fig. 14 para un periodo de tiempo que se extendió entre los años 2000 y 2003. Se observó que las velocidades del viento, al igual que en Coquimbo, se encuentran entre los 0 y 15,9 m·s<sup>-1</sup>. Los porcentajes de frecuencia de magnitud tampoco superaron el 11%, siendo los valores más característicos entre los 2 m·s<sup>-1</sup> y los 11,9 m·s<sup>-1</sup> (valores superiores a 8% de frecuencia). La dirección predominante corresponde a los vientos desde el sur, alcanzando una frecuencia máxima de un 65,7%. Los vientos provenientes desde el SE presentan una frecuencia cercana al 15% y las otras direcciones no superan el 10% de frecuencia.

En la Tabla 7, se observó para Valparaíso una velocidad máxima de 15,6 m·s<sup>-1</sup> con una dirección N, pero solo corresponde a un evento sobre los 14,0 m·s<sup>-1</sup>. Para la dirección S (máxima frecuencia en este sitio) la velocidad máxima fue de 15,8 m·s<sup>-1</sup> presentando 8 eventos entre velocidades de 14,0 y 16,0 m·s<sup>-1</sup>.

- San Antonio (33°45'00"S – 071°45'00"W)

En San Antonio (Fig. 15) se observó una distribución en los componentes de magnitud y dirección del viento similar a la observada en Valparaíso. Las velocidades fluctuaron entre los 0 y 15,9 m·s<sup>-1</sup> siendo más preponderantes entre los 6 y 8,9 m·s<sup>-1</sup> (frecuencias sobre el 10%). La dirección con mayor frecuencia fue S (61,36%) seguida de SE (15%). Los vientos provenientes desde el SW, NW, NE y N no superaron una frecuencia de 10%.

La velocidad máxima durante el periodo de estudio en San Antonio fue de 15,4 m·s<sup>-1</sup>, con dirección S (Tabla 8). Para este caso la magnitud media de los vientos fue de 8,1 m·s<sup>-1</sup>. Los máximos de magnitudes de las direcciones desde el E, NE y N fluctuaron entre los 12, 8 y 15,1 m·s<sup>-1</sup>, pero la cantidad de casos que se observaron entre estos intervalos de magnitud de velocidad del viento no fueron mayores a 12, por lo tanto correspondieron a rachas aisladas y poco preponderantes.

Una de las limitantes para los datos de viento satelital, es que correspondían a promedios diarios, los cuales se toman ocupando todas las horas del día, y no solo las más características, entre las 14:00 y 20:00. Estas horas corresponden al periodo de mayor intensidad del viento dentro del ciclo diario, por el contrario, los registros de viento entre las 02 y 08 horas son bastante débiles y presentan gran variabilidad en la dirección, lo cual disminuye considerablemente la confiabilidad de las observaciones, especialmente cuando éstas son registradas puntualmente (Pizarro *et al.*, 1994).

#### *Ejes de máxima varianza*

Al observar los ejes de máxima y mínima varianza implícitos en la Fig. 12, para los vientos correspondientes a Coquimbo, Valparaíso y San Antonio (zonas más cercanas al área de estudio), se pudo apreciar, que en los tres sitios la máxima varianza estuvo orientada principalmente en dirección norte – sur con una frecuencia entre un 70% y 80 %, siendo la variación en el eje este-oeste notablemente más baja.

#### *Porcentajes de variabilidad de distintas señales de las series de viento satelital.*

Para observar que ciclos temporales (estacional, sinóptica, etc.) representan un mayor porcentaje de la variabilidad de la serie total (sin filtrar) se procedió a calcular el porcentaje de varianza de las series filtradas con respecto a las serie sin filtrar (Tabla 9).

Los resultados obtenidos al calcular la división de la varianza de la serie sin variación anual y semi-anual con respecto a la serie original de datos de velocidad del viento meridional fueron diferentes para las tres localidades elegidas, siendo de un 97,5% para Coquimbo, 93,1% para Valparaíso y 91,8% para San Antonio.

Al calcular el porcentaje de varianza de las serie con variación anual y semi-anual con respecto de la serie original los resultados fueron de 1,7% para Coquimbo, 7,5% para Valparaíso y 9,3% para San Antonio.

Los porcentajes de variabilidad de la señal sinóptica para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio representaron un 46,03%, 43,47% y 43,93% respectivamente, esto con respecto de la varianza total de cada sitio.

### **Nivel del mar ajustado (NMA)**

Las series de nivel del mar ajustado por presión atmosférica (Fig. 16) entre los días 05/02/2000 al 25/03/2003 para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, fueron analizadas estadísticamente (Tabla 10). En este análisis se observó que el promedio de NMA en Coquimbo es mayor al observado en Valparaíso y San Antonio, con un valor de 1,39 cm, mientras que en las otras dos estaciones estos valores fueron menores a 1 cm. Al observar los resultados de desviación estándar (D.S.) se observa que existe una mayor variación en los datos correspondientes a San Antonio (6,92), mientras que en Coquimbo y Valparaíso estos valores fueron 5,53 y 5,62 respectivamente. El máximo y mínimo valor también pertenece a San Antonio, con -16,49 cm y 22,97 cm respectivamente. Los rangos de variación entre valores máximos y mínimos aumentan con respecto al aumento de la latitud, ya que en Coquimbo el rango mareal observado fue de 32,4 cm, en Valparaíso 34,67 cm y San Antonio 39,45 cm.

### **Relaciones entre las variables estudiadas**

Con el propósito de determinar la dependencia entre series desplazadas en función del tiempo se realizó un análisis de correlación cruzada entre los parámetros estudiados.

#### **Correlaciones cruzadas entre series de estrés del viento meridional (EVM) y temperatura superficial del mar en la costa (TSMC)**

Al realizar el análisis estadístico de correlación cruzada entre las series filtradas de EVM de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, con las TSMC de Arrayán, Los Molles, punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas (Fig. 17), se observó en los correlogramas valores de máxima correlación significativos (sobre el 95% de confianza) negativos cercanos al día 0 de rezago. También hubo presencia de valores positivos los cuales se explicarán posteriormente. Los rezagos positivos asociados al valor de máxima correlación están asociados a una correlación inversa, lo que indica que al existir un aumento (o disminución) del estrés del viento meridional provoca una disminución (o aumento) de la temperatura superficial del mar costero.

Las mayores correlaciones asociadas a cada sitio (Fig. 17), con su correspondiente rezago fueron: Arrayán -0,23 con 6 días de rezago, Los Molles -0,31 con un día de rezago,

en punta Curaumilla -0,40 con 1 día de rezago, Las Cruces -0,33 con 2 días de rezago y por último Matanzas con -0,41 con 1 días de rezago.

Los valores significativos positivos de correlación se encuentran entre diferentes días de rezago (tanto positivos como negativos) dentro los correlogramas correspondientes a cada sitio. En Arrayán los rezagos negativos no superaron los 0,1 de correlación y se distribuyeron entre los -18 y -27 días aproximadamente, mientras que los rezagos positivos se encontraron presentes entre los 30 y 40 días presentando valores superiores a los 0,1 de correlación. En Los Molles los rezagos negativos fueron localizados entre aproximadamente los -30 y -10 días con valores cercanos a los 0,1 de correlación, y los rezagos positivos entre 30 y 37 días aproximadamente con valores cercanos al nivel de significancia. En punta Curaumilla se observaron los valores positivos de correlación más marcados de los cinco sitios, con trozos entre los -30 y -10 días de rezago, y entre los 30 y 42 días alcanzando valores mayores a los 0,1 de correlación. En Las Cruces los rezagos negativos no superaron los 0,5 de correlación y se distribuyeron entre los -25 y -20 días aproximadamente, mientras que los rezagos positivos fueron entre aproximadamente los 35 y 45 días, observándose valores superiores a los 0,1 de correlación. Para Matanzas los correlogramas no se diferenciaron de los anteriores, observándose una distribución muy similar a la que se observó en punta Cuaraumilla, con valores positivos de correlación entre -30 y -12 días de rezago y entre 30 y 37 días de rezago aproximadamente (Fig. 17).

Al realizar un análisis de correlación cruzada a la series de tiempo sin filtrar (Fig. 18) se observó en los correlogramas una diferencia con los valores obtenidos en las series filtradas, principalmente en los sitios de Arrayán, Los Molles y Las Cruces.

En el análisis de cada lugar, se observó en Arrayán una máxima correlación a los 5 días de rezago, con un valor de -0,18. Entre los -40 y -25 días de rezago hay valores significativos de correlación mayores a -0,05. En Los Molles el máximo valor de correlación fue de -0,31 con 2 días de rezago. Cabe señalar que los valores de correlación significativos se distribuyeron entre los -3 días y 20 días de rezago, no existiendo para otros tramos. En punta Curaumilla el máximo valor de correlación fue de -0,31 con 1 día de rezago. Los valores de correlación positivos significativos (no mayores a 0,2) se observaron entre -30 y -10 días de rezago y entre los 20 y 45 días de rezago. En Las Cruces la distribución de correlaciones cruzadas fue diferente a la observada en otros sitios, ya que en este caso, la máxima correlación negativa, con un valor de -0,12 con 2 días de rezago, fue menor a los picos de correlaciones positivas, los que presentaron valores de 0,15 con -5 días de rezago y 0,24 con 40 días de rezago. En Matanzas el pick de máxima correlación fue de -0,22 con 1 día de rezago, mientras que las correlaciones positivas alcanzaron valores significativos entre los -35 y -5 días y entre los -20 y 50 días de rezago.

### **Correlaciones cruzadas entre series de nivel del mar ajustado (NMA) y estrés del viento meridional (EVM)**

Se analizó la relación entre el NMA y EVM, aplicando correlaciones cruzadas, a las series de tiempo filtradas y no filtradas de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio. Cabe señalar que los datos obtenidos no difieren en forma considerable entre las series filtradas de las no filtradas, observando correlogramas similares.

Al analizar los resultados de las correlaciones cruzadas filtradas (Fig. 19A), para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio se observaron correlaciones máximas de -0,19, -0,36 y -0,31 respectivamente, todas con -1 día de rezago. Cabe señalar que solo se observaron en Coquimbo valores significativos de correlación entre los -8 y 8 días de rezago, en Valparaíso en tres puntos, entre los (-36) – (-30), (-5) – (4) y (13) – (18) días de rezago, y en San Antonio los mismo dos primeros tramos presentes en Valparaíso.

Los resultados de las correlaciones de los datos sin filtrar (Fig. 19B) fueron bastante parecidos a los anteriores (Fig. 20), obteniéndose para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio correlaciones máximas de -0,17, -0,32 y -0,25 respectivamente, con -1 día de rezago. Además, los correlogramas tuvieron una distribución similar al caso anterior, diferenciándose solo Coquimbo, ya que presentaron valores levemente significativos cercanos a los 20 días de rezago.

### **Correlaciones cruzadas entre series de nivel del mar ajustado (NMA) y temperatura superficial del mar en la costa (TSMC).**

Para analizar si existe una relación entre el nivel del mar ajustado cercano a los cinco sitios estudiados y la TSMC de éstos, se procedió a realizar correlaciones cruzadas entre las series de tiempo de ambos parámetros filtrados y sin filtrar con un máximo de 50 días de rezago. Los resultados obtenidos con esta herramienta estadística difirieron entre las series filtradas de las no filtradas, destacándose una mayor correlación entre las primeras, con valores máximos que fluctuaron entre 0,19 y 0,32 unidades. En cambio, para las series diarias sin filtrar solo se superaron levemente valores de 0,20 en los sitios de Las Cruces y Matanzas.

Al analizar los resultados de las correlaciones cruzadas filtradas (Fig. 20), en Arrayán se observó una correlación máxima de 0,19 (la más baja de los 5 sitios) con un rezago de -1 días. En Los Molles la correlación máxima fue de 0,29 con un rezago de 9 días. Cabe señalar que la distribución de correlaciones en este sitio es diferente al observado en los 4 restantes, ya que se observaron solo valores de correlación positivos y prácticamente todos significativos (solo 5 días bajo el 95% de confianza). En Las Cruces y Matanzas la distribución de correlación fue bastante parecida con un pico máximo de 0,27 y 0,32 respectivamente. En punta Curaumilla se observó el mayor valor de máxima correlación de entre los 5 sitios (0,32).

Para el caso de los datos no filtrados (Fig. 21), en Arrayán se observó que las correlaciones son poco significativas (sobre el 95% de confianza), teniendo valores significativos sobre los 36 días y los -27 días de rezago. El valor máximo de correlación fue de 0,12 (50 días de rezago) y -0,09 (-27 días de rezago). En Los Molles la máxima correlación fue de 0,19 con 9 días de rezago. Cabe destacar que las correlaciones son prácticamente positivas (solo 5 días de rezago negativas) entre los -50 y 50 días de rezago. En punta Curaumilla se observó el pico de correlación más marcado, pero con valores negativos (-0,25). Los datos positivos para esta serie son muy pocos (aproximadamente 12 días de rezago), lo contrario de lo observado en la serie de Los Molles. En Las Cruces y Matanzas la distribución de las correlaciones cruzadas fue bastante parecida, presentando valores de correlación máximos de 0,29 y 0,27 respectivamente.

## **Análisis espectral**

### **Comparación entre series de tiempo de nivel del mar ajustado (NMA), estrés del viento meridional (EVM) y temperatura superficial del mar costera (TSMC): análisis en el dominio de la frecuencia**

Con el propósito de estudiar la variabilidad temporal de cada uno de los parámetros estudiados (EVM, NMA y TSMC) en el dominio de la frecuencia, se realizaron análisis espectrales y de coherencia y fase. Cada estimación espectral fue realizada con trozos de 81 días, obteniéndose 14 grados de libertad. Cabe señalar que los espectros de NMA y EVM no evidenciaron diferencias significativas entre datos filtrados y no filtrados, por lo tanto, solo se presentaron los espectrogramas de las figuras 22 y 23, realizados con información filtrada. Por el contrario, los espectrogramas de TSMC presentaron diferencias en las frecuencias más bajas (Figs. 24 y 25).

#### **Espectros de nivel del mar ajustado (NMA)**

En el análisis espectral realizado a las series de NMA de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio (Fig.26) se observó un notable decaimiento de la energía principalmente entre los 0 y 0,2 cpd. Dentro de este rango de frecuencia se obtuvo un máximo significativo en la banda de los 0,0247 cpd, frecuencia asociada a un periodo de 40,5 días. Además se observaron picos de energía asociados a la banda entre los 0,07 y 0,08 cpd (13,5 y 12,5 días de periodo), este último repitiéndose en Valparaíso y San Antonio, siendo más significativo que el observado en Coquimbo. En Valparaíso y San Antonio se obtuvieron picos en los 0,11 y 0,14 cpd (periodo de 9 y 7 días respectivamente) valores que no se apreciaron significativamente en Coquimbo. Sobre la banda de los 0,2 cpd, la energía espectral se mantuvo sin variación, no existiendo un decaimiento tan notorio como en el tramo de frecuencias menores a los 0,20 cpd. Para los tres sitios entre los 0,20 y 0,23 cpd se observó un leve aumento de la energía espectral, el cual está asociado a frecuencias de 5 a 4,5 días aproximadamente. Cabe señalar que la energía espectral de los sitios aumenta de norte a sur.



### **Espectros de estrés meridional del viento (EVM)**

Para las series de datos de EVM (Fig. 23), entre las frecuencias de 0 y 0,1 cpd se observaron tres picos en común entre los sitios de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, con valores de 0,025 cpd, 0,06 cpd y 0,09 cpd, frecuencias asociadas a los 40,5, 18,0 y 11,6 días aproximadamente. Estos picos presentaron diferentes relevancias entre los sitios, observándose mayor energía en el segundo pico, en Coquimbo y en el tercer pico, en Valparaíso y San Antonio. A frecuencias mayores a los 0,10 cpd y menores a los 0,20 cpd, en Coquimbo se observaron picos asociados a periodos de 5,5 a 5,8 días mientras que en Valparaíso y San Antonio las bandas de frecuencias estuvieron asociadas entre los 5,5 y 6,0 días. Sobre frecuencias de 0,20 cpd en los tres sitios los espectros presentaron picos cercanos a los 0,23 cpd, 0,3000 y 0,42 cpd respectivamente. Estos picos representan un aumento en la densidad espectral (con respecto al leve decaimiento general observado).

### **Espectros de temperatura superficial del mar costera (TSMC)**

En los espectros de series filtradas y no filtradas de TSMC (Fig. 24 y Fig. 25) de los 5 sitios elegidos, en general se observó un decaimiento (disminución) de la energía espectral al aumentar la frecuencia, la cual fue de mayor o menor escala dependiendo del sitio analizado. Además, se observaron variaciones leves entre los espectros realizados a los datos filtrados de los no filtrados, las que se presentan principalmente en las bajas frecuencias. Estas diferencias están presentes en los sitios de Arrayán, Matanzas y Las Cruces, donde los primeros picos de máxima energía se localizaron en la banda de los 0,02 cpd, para los datos filtrados, y en los 0,01 cpd para los datos no filtrados (frecuencias asociadas a los 54 y 81 días respectivamente). Cabe destacar, que en todos los espectros de TSMC, sobre frecuencias de 0,03 cpd no se observaron diferencias en la distribución de energía ya sea de datos filtrados o sin filtrar.

Al comparar los espectros de las series sin filtrar y filtradas de TSMC, para cada sector, se observó lo siguiente:

En Arrayán el primer pico significativo tiene una frecuencia de 0,01 cpd (81 días) en la serie sin filtrar, en cambio para la serie filtrada es de 0,02 cpd (54 días), siendo este último visualmente mucho más marcado que el anterior. Posteriormente, para las dos series se observó que sobre frecuencias de 0,03 cpd la energía espectral disminuye, obteniéndose leves picos significativos, principalmente en rangos de frecuencia de 13,5, 9,5, 6,0, y 3,0 días.

En Los Molles, se observó en ambas series una distribución espectral muy similar. El primer pico para ambas series fue a los 0,02 cpd (54 días), diferenciándose el uno del otro solo en la densidad espectral, siendo mayor en la serie filtrada. Al igual que en el sitio anterior, sobre los 0,03 cpd la densidad espectral disminuye con respecto a la frecuencia, observándose picos significativos en rangos de frecuencia de 18,0, 10,1, 6,0, 4,0 y 3,0 días.

En punta Curaumilla se evidenció algo similar al sitio anterior, solo que en este caso el primer pico más significativo tuvo una frecuencia de 0,03 cpd (40,5 días) y la densidad espectral fue mayor para la serie sin filtrar. Sobre los 0,10 cpd se observaron picos significativos a frecuencias de 0,11 cpd (9,5 días), 0,16 cpd (6,2 días), 0,19 cpd (5,4 días), 0,24 cpd (4,3 días), 0,27 cpd (3,8 días) y entre los 0,27 cpd y 0,48 cpd aproximadamente 6 picos correspondientes a altas frecuencias.

En Las Cruces se observó una distribución parecida a la presente en Arrayán, con un primer pico significativo a una frecuencia de 0,01 cpd (81 días) en la serie sin filtrar y uno de 0,02 cpd (54 días) en la serie filtrada, diferenciándose levemente en cuanto a la densidad espectral el uno con el otro. Además, al igual que en todos los casos la densidad espectral disminuye al aumentar la frecuencia.

En Matanzas se observó una distribución parecida a la presente en Arrayán y Las Cruces bajo los 0,03 cpd, con un primer pico significativo a una frecuencia de 0,01 cpd (81 días) en la serie sin filtrar y uno de 0,02 cpd (54 días) en la serie filtrada, diferenciándose también levemente en cuanto a la densidad espectral. Al igual que en las distribuciones anteriores, se distinguieron picos significativos en variadas frecuencias, destacándose principalmente las correspondientes a 0,23 cpd (4,4 días), 0,29 cpd (3,4 días), 0,33 cpd (3,1 días), 0,42 cpd (2,4 días) y 0,49 cpd (2,1 días).

Cabe señalar, que entre aproximadamente 0,15 cpd y 0,25 cpd las series de Los Molles, punta Curaumilla y Matanzas presentaron una distribución de la densidad espectral variada. Además, los sitios de Arrayán y Las Cruces registraron menor energía espectral que la presente en los otros tres sitios.

### **Análisis de coherencia y fase entre estrés del viento meridional (EVM) y temperatura superficial del mar costera (TSMC)**

Los resultados del análisis de coherencia y fase entre las series de EVM y TSMC evidenciaron distribuciones levemente diferentes entre los datos correspondientes a las series filtradas de las series no filtradas (Figs. 26 y 27). Sus distribuciones se exponen a continuación.

#### *Series de tiempo filtradas*

En Arrayán se observó claramente la presencia de valores significativos asociados a frecuencias entre los 0,02 cpd y 0,06 cpd y entre los 0,29 y 0,32 cpd, siendo estos últimos de menor coherencia que los primeros. El máximo de coherencia correspondió al primer pico con una frecuencia de 0,03 cpd (periodo de 40,5 días) con una fase de  $140^\circ$  y un rezago en la señal de temperatura de 15,7 días. El pico de mayor valor del segundo tramo tuvo una frecuencia de 0,32 cpd con una fase de  $152^\circ$ .

En Los Molles se observó en general una tendencia al decaimiento de la coherencia entre las más bajas frecuencias y los 0,30 cpd, distinguiéndose aproximadamente 4 picos con valores significativos. El máximo valor de coherencia cuadrada fue de 0,6881 asociado a una frecuencia de 0,03 cpd con una fase de  $122,5^\circ$  y presentando un rezago en los valores de TSMC de 13,8 días. Los otros picos significativos se distinguieron en las frecuencias de 0,03 cpd, 0,06 cpd, 0,14 cpd y 0,23 cpd, con fases de  $124,8^\circ$ ,  $122,8^\circ$ ,  $111,1^\circ$  y  $79,9^\circ$ .

En punta Curaumilla se observó una distribución de las coherencias muy parecida a la de los datos sin filtrar, distinguiéndose alrededor de 8 picos significativos entre los 0 y 0,50 cpd. El valor máximo de coherencia se distinguió a una frecuencia de 0,24 cpd con una fase de  $155,3^\circ$  y un retraso de la señal de TSMC de 1,8 días. Un valor de coherencia muy parecido se observó también asociado a una frecuencia más baja (0,13 cpd) con una fase de  $128,1^\circ$  y rezago en la TSMC de 2,7 días.

En Las Cruces, al igual que en punta Curaumilla, Los Molles y Matanzas se observó una distribución de las coherencias muy parecida a la de los datos sin filtrar. La máxima coherencia se distinguió a una frecuencia de 0,15 cpd (asociado a un periodo de 6,7 días) con una fase de  $44,2^\circ$ . Los otros picos característicos se asociaron a periodos de 15 y 4 días aproximadamente.

En Matanzas se observó una máxima coherencia asociada a un periodo de 4,2 días (0,24 cpd) con una fase de  $111,2^\circ$  y un retraso en la señal TSMC de 1,3 días. Otro pico muy cercano al máximo anterior se encontró a una frecuencia de 0,01 cpd (81 días de periodo) con una fase de  $144,8^\circ$ .

Cabe destacar, que al igual que en el caso de los datos no filtrados, las fases de todos los sitios fueron prácticamente positiva, a excepción de Los Molles que mostró un dato negativo.

#### *Series de tiempo no filtradas*

Analizando los sitios en forma separada (Fig. 27), en Arrayán las coherencias cuadradas fueron significativas solo en las bajas frecuencias, entre los 0 y 0,06 cpd. El máximo pico corresponde a un periodo de 54 días, con una fase de  $155^\circ$  y un retardo en la señal de temperatura de aproximadamente 23 días.

En Los Molles se observaron coherencias cuadradas significativas a lo largo de todo el espectro, pero principalmente en las frecuencias más bajas, entre  $\infty$  y 0,10 cpd. La máxima coherencia se distinguió en el pico correspondiente a un periodo de 40,5 días con una fase de  $120,6^\circ$  y un retraso en la temperatura de 13,6 días. Cabe destacar la presencia de un pico significativo asociado al periodo de 7,0 días (0,14 cpd) con una fase de  $110,8^\circ$ , el cual resalta de los picos posteriores debido a su mayor coherencia cuadrada, muy similar a los picos asociados a frecuencias cercanas a los 0,10 cpd.

En punta Curaumilla, al contrario de lo observado en la distribución de coherencias cuadradas de los sitios anteriores, se observaron 4 picos con valores que superaron las 0,6000 unidades a frecuencias de 0,02, 0,13, 0,22 y 0,24 cpd, con fases entre los  $125^\circ$  y  $155^\circ$  aproximadamente. Cabe señalar que los picos asociados a frecuencias entre los 0,19 cpd y 0,24 cpd tienen un retraso en la señal de temperatura del orden de los 2 días.

En Las Cruces se observó una distribución similar a la de punta Curaumilla, pero las frecuencias estuvieron asociadas a coherencias con menor energía, las cuales no superaron las 0,55 unidades. Los máximos valores correspondieron a tres picos, con frecuencias de 0,07 cpd, 0,24 cpd y 0,41 cpd, asociados a fases de  $122,6^\circ$ ,  $28,6^\circ$  y  $36,6^\circ$  respectivamente. Las frecuencias correspondientes a periodos de 4,2 y 2,4 días presentaron un rezago en la temperatura de 0,3 días aproximadamente.

En Matanzas se observaron aproximadamente 10 picos significativos que se distribuyeron entre frecuencias de 0,02 cpd y 0,25 cpd. El último pico significativo correspondió a un periodo de 2,7 días (0,38 cpd). Los picos con los máximos valores (mayores a 0,70 unidades) estuvieron asociados a frecuencias de 0,02 cpd (54 días), 0,15 cpd (6,7 días) y 0,20 cpd (5,1 días). Las fases asociadas a los picos significativos se distribuyeron entre los  $82^\circ$  y  $145,7^\circ$  aproximadamente.

Cabe destacar que en los sitios de Arrayán, punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas las fases de los valores significativos fueron positivas, diferenciándose de Los Molles que presentó fases negativas en el periodo más bajo (81 días) y en el más alto (2 días), con valores de  $-177,5^\circ$  y  $-106^\circ$  respectivamente.

En resumen, con respecto a las distribuciones de las coherencias cuadradas, los datos filtrados de los no filtrados presentaron distribuciones bastante parecidas, diferenciándose en estructura solo el sitio de Arrayán, el cual presentó picos significativos sobre los 0,20 cpd.

### **Análisis de coherencia y fase entre nivel del mar ajustado (NMA) y temperatura superficial del mar costera (TSMC)**

En el análisis de coherencia y fase entre las series de NMA y TSMC (Fig. 28 y Fig. 29) se observó la existencia de una mínima diferencia entre las series filtradas de las no filtradas, presentándose estas en las frecuencias más bajas, especialmente en los primeros 0,05 cpd. A continuación se presentan los resultados producto del análisis a cada sitio, tanto para las series sin filtrar y filtradas.

En Arrayán se observó la presencia de dos picos significativos los cuales se asocian a frecuencias de 0,33cpd y 0,41 cpd. Estos valores corresponden a periodos de 3,0 y 2,4 días respectivamente estando cada uno de ellos en fase de  $45,2^\circ$  y  $82,5^\circ$ . Cabe destacar que el rezago de la señal de TSMC es menor a 1 día.

En Los Molles, tanto para las series filtradas y sin filtrar, se observaron cuatro picos significativos con valores de frecuencia asociados a periodos de 27, 5,6, 2,9 y 2,3 días, con fases de  $-87,3^\circ$ ,  $-36,9^\circ$ ,  $3,5^\circ$  y  $13,8^\circ$  respectivamente. Cabe señalar la máxima coherencia correspondió a los 0,43 cpd. Además, en el análisis de coherencia de las series filtradas se observó un valor significativo a una frecuencia de 0,01 cpd con una fase de  $180^\circ$ .

En los valores correspondientes a punta Curaumilla no se observaron mayores diferencias entre las series de datos filtradas de las no filtradas en cuanto a las frecuencias asociadas a picos significativos, variando solamente el valor de coherencia y de fase de las frecuencias de 0,019 cpd y 0,025 cpd. Los tres picos siguientes no presentaron mayores diferencias.

En Las Cruces, al igual que en Los Molles se observó la presencia de un valor significativo de más en las series filtradas, con una frecuencia asociada a los 0,01 cpd y una fase de  $0^\circ$ , el cual no interfirió en la distribución de los picos. En este sitio se observaron siete picos significativos siendo el máximo (para los dos casos) el que se distingue a una frecuencia de 0,02 cpd (periodo de 54 días) con una fase de  $-82,3^\circ$  en las series sin filtrar y  $-81,6^\circ$  en la serie filtrada.

En Matanzas todos los picos sobre frecuencia de 0,09 cpd estuvieron presentes en periodos iguales tanto para series filtradas y no filtradas. Estos periodos corresponde a 11,6, 9,0, 7,0, 5,4, 5,2, 4,2 y 2,5 días. Las fases asociadas a estos periodos son aproximadamente  $-11^\circ$ ,  $-53^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $-34^\circ$ ,  $-26^\circ$ ,  $23^\circ$  y  $-74^\circ$  respectivamente. El valor máximo de coherencia se asoció a una frecuencia de 0,24 cpd con una fase de  $23^\circ$ .

## DISCUSION

### **Estructura geográfica simple de los patrones de temperatura superficial del mar costera**

La distribución latitudinal de la temperatura superficial del mar costero filtrada (Tabla 3) de los sectores Arrayán, punta Curaumilla y Las Cruces, presentó valores de correlación que disminuyen a medida de que los sitios se distancian, es decir, la distribución se presenta como estructura geográfica simple de los patrones de temperatura. Por el contrario, la correlación de la TSMC en los sectores de Los Molles y Matanzas no presentó esta situación, especialmente en el caso de la correlación entre estos sitios y Las Cruces, lo cual puede deberse principalmente a la presencia de procesos físicos a escala local, como por ejemplo sombras de surgencia, que afectan a la distribución de temperatura en Las Cruces.

La variabilidad de la TSMC con respecto al rezago en el tiempo detectó, que la respuesta evaluada como el valor máximo de correlación entre sitios, fue de 0 días en los casos de Los Molles – punta Curaumilla, y Los Molles – Matanzas, es decir, fue casi inmediata; contrario a lo observado en Los Molles – Las Cruces, ya que se obtuvo un rezago de 1 día. La mayor correlación existente en Los Molles – Matanzas y el rezago en el tiempo entre Los Molles – Las Cruces, puede deberse a la influencia de la retención de temperatura en la zona costera, las cuales afectan el análisis de correlación aplicada a las series. Este resultado puede deberse a la presencia de sombras de surgencia en esta zona, tal como lo describe Wieters *et al.* (2003). La variabilidad temporal de la TSMC también fue observada por Narváez *et al.*, (2003) entre las localidades de Las Cruces y El Quisco (33°24'S), distantes 15 km una de la otra. En este caso sus resultados mostraron que en ambos sitios existe una columna de agua mezclada, con una homogeneidad espacial en los meses de invierno y un levantamiento de la termoclina en primavera y a través del verano, con intensificación de los vientos favorables a la surgencia. Sin embargo, a pesar de la proximidad de los sitios, fueron detectadas persisten diferencias en las temperaturas superficiales del mar y vientos forzantes. El análisis de series de tiempo y correlaciones cruzadas entre el viento y la temperatura superficial de ambos sitios, sugiere que la intensidad y frecuencia de la surgencia varía entre estos sitios, probablemente debido a la diferencia en la orientación de las líneas de costa, ya que en el caso de Las Cruces ésta se orienta al NW mientras que en El Quisco es hacia el N.

En el sector de Matanzas al igual que en Los Molles no se observó una disminución de la correlación con respecto a la distancia, ya que el valor de correlación obtenido entre Matanzas – Las Cruces (0,7286) es menor al observado entre Matanzas – punta Curaumilla (0,7313). En cuanto a los rezagos en el tiempo, como ya se mencionó anteriormente existe rezago de 1 día entre Los Molles – Las Cruces al igual que entre Los Molles – Arrayán. En cuanto al retraso en el primer caso, se puede deber a la mencionada sombra de surgencia, mientras que para el segundo caso, el retraso puede ser debido a la distancia geográfica y geomorfología de la costa presente entre los dos puntos, ya que Matanzas se encuentra al

sur del foco de surgencia de punta Toro (Wieters *et al.*, 2003) y del foco de surgencia de punta Curaumilla (Fonseca, 1977).

En el caso de las series no filtradas, al igual que en las series filtradas, se observó que la estructura geográfica simple en los patrones de TSMC solo estuvo presente en el sitio de punta Curaumilla, dado que en los otros sectores los valores de correlación fueron bajos. Esta diferencia puede deberse a que la distribución de temperatura en punta Curaumilla está íntimamente ligada a los fenómenos de surgencia (Fonseca, 1977; Bello, 2001; Silva & Valdenegro, 2003), mientras que en los otros sitios la surgencia influye tangencialmente en su variabilidad temporal, ya que no se encuentran posicionados en el foco de aguas surgentes propiamente tal. La baja correlación de los restantes sectores con los datos de punta Curaumilla también se corrobora al analizar los datos de correlación cruzada realizada entre nueve sitios, con series de tiempo paralelas en el tiempo de extensión de 425 días. En este caso las series de TSMC de Temblador, Arrayán, Los Molles, Montemar y Las Cruces presentaron valores de correlaciones menores a los esperados, según una distribución latitudinal de la TSMC. En algunos casos, Quintay presentó un comportamiento similar al de punta Curaumilla, lo cual se debe a su cercanía (10 Km). Además, cabe destacar que entre punta Talca y Arrayán existe una correlación más baja de lo esperado (0,51) en comparación con éste sitio y Los Molles que presentó una correlación de 0,65, siendo que las distancias entre ellos son mayores que en el caso anterior.

### **Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar costera**

El estudio de las fluctuaciones espaciotemporales de la TSMC por cada sector se realizó con función de autocorrelación. Los resultados indicaron que existe una diferencia al aplicar la función de autocorrelación a series no filtradas y a series filtradas.

#### *Series No Filtradas*

Las series no filtradas (Fig. 9), presentan en todos los sitios un cambio de correlación de valores positivos a valores negativos en periodos de rezago de 90 a 120 días aproximadamente. De esta forma se observaron claramente los cambios de una estacionalidad más marcada en la señal de TSMC de Arrayán (sobre los 30°S), la cual decae en las estaciones de más al sur, especialmente en la autocorrelación de punta Curaumilla, la cual prácticamente no presenta una señal de periodo frío. Esto fue observado por Wieters *et al.*, (2003), que encontró que la persistencia en el tiempo de la señal de temperatura superficial del mar es menor en sitios ubicados al sur de los 31°S que en localidades ubicadas al norte de esta latitud. Esto significa que los procesos que manejan las condiciones de las aguas superficiales cercanas a la costa, como los vientos favorables a la surgencia, son más variables o de menor duración al sur de la discontinuidad de reclutamiento que al norte. Esta mayor o menor persistencia está ligada a la mayor estacionalidad de la señal de TSMC que presentan las localidades más al norte de la zona de transición antes mencionada lo que se observa claramente en las autocorrelaciones realizadas a series de 425 días de datos de TSMC de 9 sitios días (Fig. 10).

### *Series Filtradas*

El mismo análisis de autocorrelación aplicado a las series filtradas de TSMC (Fig. 11) demuestra claramente que la estacionalidad fue extraída de los datos, al no observarse ninguna curva de decorrelación existente en el análisis de las series originales. Para este caso se observaron claramente que los sitios tienen una semejanza, principalmente en los primeros 30 días, ya que la decorrelación de las señales es no significativa en todos los sitios entre los 22 y 26 días de rezago aproximadamente. Además no se observó ninguna diferencia en las señales de TSMC asociadas a la ubicación del sitio, es decir, si este se encuentra más al norte o más al sur.

Analizando que escala de variabilidad temporal es más característica para series de TSMC se observó que Arrayán presentó una mayor estacionalidad (68,7%), mientras que punta Curaumilla fue el sitio con menor estacionalidad (18,5%). La señal sinóptica de la TSMC fue más fuerte para los sitios asociados directamente a focos de surgencia de punta Curaumilla y punta Topocalma, descritos por Bello (2001). Esto se debe principalmente a que los procesos de surgencia son dependientes de la variabilidad temporal del viento, el cual está altamente modulado por variaciones de escala sinóptica (Hormazábal, 1999). Cabe destacar que el porcentaje explicado por las series filtradas (sin señal anual y semianual) en sitios al sur de Arrayán fue aproximadamente el doble más alto. Esto indicaría que existen otros procesos (a parte del cambio anual de la distribución de temperatura por la estacionalidad y procesos de surgencia) que influirían de mayor forma en la señal de TSMC, como por ejemplo procesos diarios (brisa marina, ondas de marea), procesos intraestacionales (ondas ecuatoriales). Esta aseveración reafirma la estacionalidad observada en el análisis de autocorrelación.

Al realizar el análisis espectral de las series de tiempo de TSMC se mostró que entre datos filtrados y no filtrados existe una diferencia en la energía espectral asociada a las más bajas frecuencias (0,02 cpd y 0,01 cpd) debido a la presencia y no presencia de la estacionalidad en los datos. Esta variabilidad de baja frecuencia se debe principalmente a fenómenos de origen remoto, como por ejemplo ondas atrapadas a la costa, las cuales fueron observadas por Pizarro *et al.*, (1994) al realizar un análisis en temperaturas de aguas superficiales de la costa norte de Chile. Diversos estudios permiten identificar esta situación como una de las características más importantes del sistema Perú-Chile (Smith, 1978; Huyer *et al.*, 1987), que lograrían diferenciarse de otros sistemas como el de Benguela, donde el viento es el principal forzante (Tauton-Clark, 1985). Sobre frecuencias de 0,03 cpd los espectrogramas no presentan diferencias significativas, además se observó la presencia de picos asociados a periodos de aproximadamente 13, 10, 6 y 3 días para todos los sitios, resultados similares a los observados por Letelier (1998) y Bello (2001), quienes asocian estos valores a la relación existente entre el viento y la TSMC.

Cabe destacar que el uso de series filtradas y no filtradas dependerá de qué tipo de señales se quiera analizar y qué herramienta estadística se utilizará. Especialmente en este caso, el uso de datos sin señal anual y estacional en el análisis de autocorrelación de las TSMC no es preponderante debido a que estas series no muestran con claridad los procesos



o fenómenos que ocurren, al contrario de lo que se observó en las series no filtradas, las cuales demuestran claramente la estacionalidad de los datos.

### **Variabilidad del viento satelital y nivel del mar ajustado**

La circulación atmosférica superficial en la región centro y norte de Chile es dominada por la presencia del anticiclón del Pacífico sur oriental (APSO), la que da lugar a un viento predominantemente S y SW en la zona norte y central de Chile (Strub *et al.*, 1998), usual para la ocurrencia de surgencia costera (Bakun & Nelson, 1991). Para este estudio, los análisis estadísticos de promedios diarios de estrés y componente meridional del viento, cercanos a los puertos de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, dieron como resultado la predominancia de vientos provenientes desde el sur, con intensidades que fluctuaron entre los  $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y los  $15,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Bello (2001) concluye que los vientos entre los  $32^{\circ}\text{S}$  y  $36^{\circ}\text{S}$  presentan una variación anual caracterizada por máximos valores en verano y mínimos en invierno, donde el eje principal se orienta en dirección aproximada norte-sur, paralelo a la costa con una componente favorable a la surgencia.

Los porcentajes de variabilidad de la señal estacional y sinóptica del viento meridional, dieron como resultado que la señal sinóptica se distribuyó entre un 46% y un 43% con respecto de la señal original, mientras que la señal anual y semianual explica entre un 1,7% y un 9,3% de la señal original, es decir, no existe una estacionalidad marcada en las series meridionales de viento, pero sí una mayor preponderancia de la señal sinóptica.

Los resultados de los espectros de energía obtenidos para las series de EVM de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio mostraron la presencia de picos entre las frecuencias de 0,1 cpd y 0,2 cpd, los cuales fueron característicos para periodos de 5,5 a 5,8 días en Coquimbo y entre 5,5 y 6,0 días en Valparaíso y San Antonio. Estos periodos son comparables a los descritos en el estudio de Hormazábal (1999), quien determinó que el ciclo anual del esfuerzo del viento es altamente modulado por fluctuaciones de escala sinóptica (5 a 10 días) y con periodos de 16 a 25 días. A frecuencias más bajas, entre 0,0024 y 0,086 cpd, se observaron picos de frecuencias asociados a periodos de 41,5, 18,0 y 11,6 días en las tres estaciones.

Los resultados obtenidos del análisis estadístico básico realizado a las series de tiempo de NMA de Coquimbo y Valparaíso (Tabla 8), son similares a los obtenidos por Castillo (2003) en periodo de transición (sin presencia de fenómenos ENSO). Por ejemplo, en Coquimbo el promedio obtenido fue de 0,014 m, mientras que Castillo (2003) obtuvo un valor de -0,02 m. En Valparaíso el valor obtenido fue de 0,0064 m comparado con un valor aproximado a 0,00 m obtenido por Castillo (2003). Los valores máximos y mínimos son similares, diferenciándose solo las desviaciones estándar. Cabe destacar que las series de tiempo de nivel del mar utilizadas por Castillo (2003) tenían una extensión de 9 años, contra series de tiempo de nivel del mar de 3 años utilizadas para el presente trabajo.

En los resultados obtenidos del análisis espectral de las series de NMA para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio se observó un leve aumento de la energía al sur de

Coquimbo, principalmente en las altas frecuencias. Además de perturbaciones de alta frecuencia asociados principalmente a efectos locales, se observaron picos significativos asociados a bajas frecuencias (0,03cpd, 0,07cpd y 0,08cpd) correspondientes a periodos de 40, 18 y 12 días aproximadamente. Este tipo de perturbaciones de baja frecuencia, tanto intraestacional como de mayor frecuencia (del orden de 10 días) dominan el comportamiento de las series de nivel del mar de la costa de Chile (Castillo, 2003). En Valparaíso y San Antonio se observó la presencia de picos asociados a las bandas de frecuencia con periodos de 9 y 7 días, lo cual puede estar asociado lo indicado por Shaffer *et al.*, (1997), quien indicó que gran parte de la variabilidad de escala sinóptica en la banda de los 6 y 10 días esta probablemente asociada a ondas atrapadas en la atmósfera (Gill, 1982), denominadas “bajas costeras”. Esta relación se corrobora al observar el trabajo de Kelly *et al.*, (1993), el cual describe la existencia de un grado de correlación entre el rotor del esfuerzo del viento y la variabilidad del nivel del mar.

Cabe destacar que del análisis espectral, las series de tiempo de TSMC y NMA presentaron picos asociados entre los 54 días y los 40,5 días de periodo. Estos valores están asociados a fluctuaciones de origen remoto intraestacionales las que han fueron descritas para las costas de Chile por Shaffer *et al.*, (1997), Hormazábal (1999), Pizarro (1999), Bello (2001) y Castillo (2003). Esta variabilidad de baja frecuencia es explicada en su mayor parte por ondas atrapadas a la costa, las cuales pueden afectar procesos dinámicos, tales como las surgencias costeras.

### **Relación entre series de tiempo de nivel del mar ajustado (NMA), estrés del viento meridional (EVM) y temperatura superficial del mar en la costa (TSMC).**

Del análisis de correlación cruzada realizado entre el EVM y TSMC se observó que existe una relación entre las variables no mayor a un rango de -0,4 a 0,4 unidades de correlación, con rezagos positivos en los casos asociados a series filtradas (Fig. 17). Los rezagos positivos correspondientes al valor más alto de correlación se asociaron a una correlación inversa, lo que indica que al existir un aumento (disminución) del estrés del viento meridional se provoca una disminución (o aumento) de las temperaturas superficiales del mar costeras. Esto es similar a lo observado por Pizarro *et al.* (1994) en la costa norte de Chile. Los rezagos presentes en estas relaciones varían según los sitios, observándose una diferencia en los sitios de Arrayán (6 días de rezago) y Las Cruces (2 días de rezago) con respecto a los otros tres sitios, los cuales presentaron solo un día de rezago. Estas diferencias pueden ser influenciadas por el efecto de los focos de surgencia de punta Toro y punta Curaumilla sobre los sitios de Curaumilla y Matanzas, los cuales responden con 1 día de rezago al estrés del viento, mientras que en Las Cruces, debido a una zona de sombra de surgencia descrita por Wieters *et al.*, (2003), la respuesta de la TSMC al viento se retrasa un día con respecto a otros sitios.

En el análisis de coherencia entre las series de EVM y TSMC se observó en todos los sitios que las frecuencias se relacionan en la banda de los 0,06 cpd (16 días de periodo) con un rezago que fluctúa entre los 4 y 6 días. A frecuencias mayores a los 0,20 cpd, los sitios de punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas se relacionaron en la banda de los 0,22 cpd

(4,5 días). Estos resultados son similares a los obtenidos por Letelier (1998), quien encontró que la temperatura medida en la costa, el nivel del mar y viento están relacionadas en las bandas de frecuencia centradas en los 0,069 cpd (15 días), 0,10 cpd (10 días) y 0,22 cpd (4,5 días).

Al analizar las correlaciones existentes entre el NMA y TSMC se observó que existe una muy baja correlación en las series no filtradas, especialmente en Arrayán. Estos valores son diferentes a los observados en las series filtradas, las que mostraron una mejor correlación entre las variables, en especial Los Molles que solo presentó valores significativos de correlación. Los rezagos fueron positivos desde Los Molles al sur, los cuales fluctuaron entre los 1 y 9 días. Los sitios que presentaron 1 día de rezago fueron punta Curaumilla y Matanzas.

Del análisis de coherencia entre NMA y TSMC se observó que no existe una coherencia cuadrada significativa en las bajas frecuencias en el sitio de Arrayán y un pico significativo muy bajo en Los Molles (0,037 cpd), y sobre frecuencias de 0,1 cpd existen solo 2 picos significativos asociados a periodos de 3 y 5 días. En los sitios de punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas existen picos de coherencia asociada al periodo de 54 días (0,018 cpd), con fases negativas y rezagos entre los -10 días y -8,5 días.

A mayores frecuencias el EVM, NMA y TSMC presentan relaciones asociadas entre bandas de 0,41 y 0,43 cpd (2,4 a 2,3 días) en todos los sitios. Estas bandas de frecuencia han sido relacionadas a la influencia local del viento (Shaffer *et al.*, 1997).

## CONCLUSIONES

Se analizaron series de tiempo de temperatura superficial del mar costero (TSMC) principalmente de cinco sitios (Arrayán, Los Molles, punta Curaumilla, Las Cruces y Matanzas) que no se encuentran equidistantes y presentan diferentes morfologías de costa. La caracterización de los patrones espaciales se realizó con el estudio de series de tiempo de viento satelital y nivel del mar ajustado asociados a los puertos de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio, esto con el fin de caracterizar patrones espaciales de variabilidad de la TSMC, determinar gradientes espaciales e identificar los principales procesos forzantes que influyen los patrones de variabilidad espacio temporal de la TSMC, en la zona central de Chile. Para este análisis se ocuparon series de tiempo de aproximadamente 3 años las cuales fueron analizadas con diferentes tipos de estadísticos.

La existencia de una estructura geográfica simple entre los sitios de estudio no está solamente ligada a la distancia que hay entre los puntos de muestreo, sino que también depende de morfología de la línea de costa, la cual tiene un papel preponderante en lo que respecta a retención de energía calórica en el sistema acuático.

El análisis estadístico de autocorrelación realizado a las series de tiempo no filtradas, tanto para el muestreo de 1192 días como para el de 425 días, detectó que los patrones de TSMC de sitios con latitudes menores a 30°S (Arrayán, Temblador) presentan una variabilidad estacional más marcada que en los sitios localizados a latitudes sobre los 31°S. Esta discontinuidad latitudinal de la variación estacional de la TSMC también se observó al realizar el cálculo del porcentaje de varianza explicado por las series anuales y estacionales con respecto de la serie original, donde la localidad de Arrayán dio un valor 68,7%, siendo el doble de lo observado en Los Molles (34,9%). En este mismo análisis se observó que punta Curaumilla solo explicó un 18,47% de su señal anual y semianual con respecto a la original, esto puede estar ligado al efecto de los fenómenos de surgencia sobre ésta zona, los cuales al inducir un enfriamiento y homogeneidad en la columna de agua perturban a la señal de estacionalidad, la cual está ligada al efecto que provoca la radiación solar sobre las capas superficiales del océano.

Las series de tiempo de estrés del viento meridional y temperatura superficial del mar costera de los cinco sitios estudiados son coherentes a bajas frecuencias, principalmente en la banda de los 0,06 cpd (16 días de periodo) con un rezago que fluctúa entre los 4 y 6 días.

En la banda intraestacional las series de tiempo de TSMC y NMA presentan picos asociados entre los 54 días y los 40,5 días de periodo, frecuencias que se asocian a oscilaciones de origen ecuatorial. Estas variables presentan además una relación asociada a frecuencia altas (~0,4 cpd) centradas en periodos de 2,4 días aproximadamente, las cuales son producto del forzamiento local que presenta el viento sobre estos parámetros, con rezagos entre 1 y 2 días aproximadamente entre las variables.

En general, los procesos sinópticos del viento (asociados a procesos de surgencia) modelan la variabilidad de la temperatura superficial del mar costera en los sitios más

cercanos a focos, como lo son punta Curaumilla y Matanzas, en cambio, procesos locales y morfología de la costa afectan la distribución de la temperatura superficial en sitios como Las Cruces, el cual además está asociado a sombras de surgencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakun, A. & C. Nelson. 1991.** The seasonal cycle of wind stress curl in sub-subtropical eastern boundary current regions. *J. Phys. Oceanogr.*, 21: 1815-1834.
- Barbieri, M.A., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro & E. Yáñez. 1995.** Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Invest. Mar., Valparaíso*, 23: 99-122.
- Bello, M. 2001.** Variabilidad espacial y temporal de los eventos de surgencia costera en la zona central de Chile (32-36°S, 71-75°W), octubre 1997-septiembre 1999. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 94 pp.
- Bendat, J. S. & A. G. Piersol. 1986.** *Random Data: Analysis and Measurement Procedures.* John Wiley and Sons, New York. 497 pp.
- Castillo, M. 2003.** Influencia de oscilaciones oceánicas de origen ecuatorial en las fluctuaciones de baja frecuencia de las corrientes y nivel del mar a lo largo de la costa de Chile central. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 103 pp.
- Emery, W. J. & R. E. Thomson. 2001.** *Data Analysis Methods in Physical Oceanography.* Elsevier, Amsterdam. 638 pp.
- Fonseca, T. R. 1977.** Proceso de surgencia en punta Curaumilla con especial referencia a la circulación. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 90 pp.
- Fonseca, T. R. 1987.** Anomalías de temperatura y nivel del mar en la costa del Pacífico Sudoriental. *Cienc. y Tec. del Mar, CONA*, 11: 17-43.
- Gill, A. 1982.** *Atmosphere-ocean Dynamics.* Academic Press, New York, 661 pp.
- González, M. 1998.** Circulación en centro de surgencia activa frente Punta Lengua de Vaca, Coquimbo (30° S). Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 84 pp.
- Graham, W. M. & J. L. Largier. 1997.** Upwelling shadows as nearshore retention sites: the example of northern Monterey Bay. *Continental Shelf Res.*, 509: 509-532.
- Hormazábal, S. 1994.** Características de la circulación oceánica y costera frente a Coquimbo (30° S). Tesis para optar al título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 131 pp.

- Hormazábal, S. 1999.** Propagación de ondas de baja frecuencia a lo largo de la costacentro-norte de Chile: modulación de las propiedades físicas del océano costero. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Física. Universidad de Concepción, 79 pp.
- Hormazábal, S., G. Shaffer & O. Leth. 2004.** Coastal Transition Zone off Chile. *J. Geophys. Res.*, 109(C01021): 1-13.
- Huyer, A., R. Smith & T. Paluszkiwes. 1987.** Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, 1981-1984. *J. Geophys. Res.*, 92(13): 14297-14307.
- Jara, X. 1992.** Variabilidad temporal de eventos de vientos favorables a la surgencia a los 30°S 1979-1988. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 199 pp.
- Jenkins, G. & M. Watts. 1968.** Spectral analysis and its applications. Holden-Day, San Francisco. 525 pp.
- Jones, C., D. E. Walister & C. Gautier. 1998.** The influence of the Madden-Julian Oscillation on ocean surface heat fluxes and sea-surface temperatures. *J. Climate*, 11: 1057-1072.
- Kelly, K., M. Caruso & J. Austin. 1993.** Wind forced variations in the sea surface high in the northeast Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 23: 2392-2411.
- Lagos, N., M. M. Rivadeneira & M. Fernández. 2004.** Importancia de la escala espacial y el rol de la oceanografía costera en la identificación de regiones y límites biogeográficos. XXIV Congreso de Ciencias del Mar, Coquimbo, Chile, Soc. Chilena de Cs. del Mar.
- Letelier, J. 1998.** Estudio de la variabilidad de los eventos de surgencia, entre Arica (18°29'S, 70°19'W) y Tocopilla (22°05'S, 70°11'W), observado en imágenes de satélite durante febrero y marzo de 1991 y 1992. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, 66 pp.
- Marín, V. H., L. E. Delgado & R. Escribano. 2003.** Upwelling shadows at Mejillones Bay (northern Chilean coast): a remote sensing in situ analysis. *Invest. Mar.*, 31(2): 47-55.
- Narváez, D. A., E. Poulin, G. Leiva, E. Hernández, J. C. Castilla & S. A. Navarrete. 2003.** Seasonal and spatial variation of nearshore hydrographic conditions in Central Chile. *Continental Shelf Res.*, 24: 279-292.
- Navarrete, S. A., E. A. Wieters & B. R. Broitman. 2004.** Control Oceanográfico de intensidades de interacción entre especies: estableciendo los límites de las

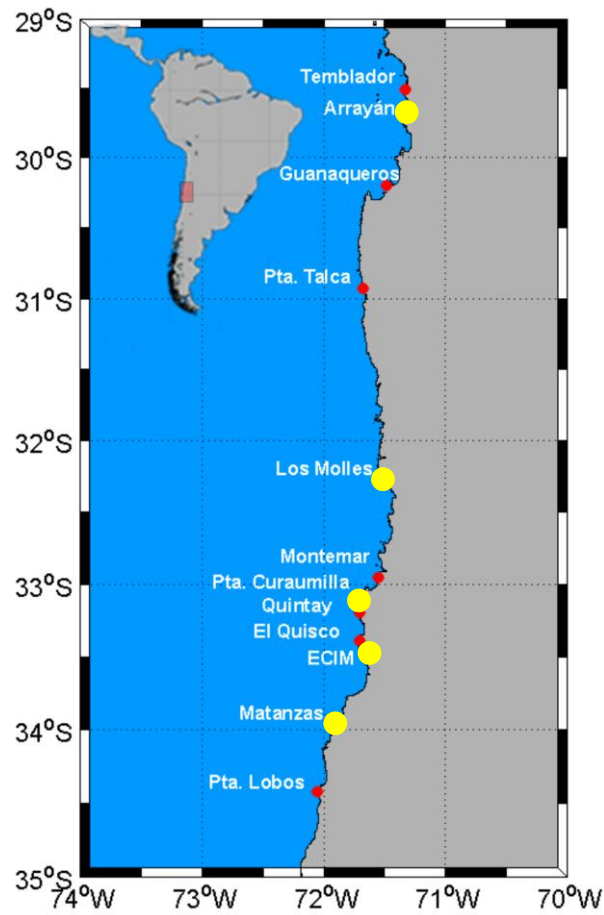
generalizaciones ecológicas. XXIV Congreso de Ciencias del Mar, Coquimbo, Soc. Chilena de Cs. del Mar - Universidad Católica del Norte.

- Neshyba, S. & R. Méndez. 1976.** Análisis de temperatura superficial del mar como indicadores de movimientos de aguas superficiales en el Pacífico sur-este. *Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur*, 5:129-137.
- Pizarro, O., S. Hormazábal, A. González & E. Yáñez. 1994.** Variabilidad del viento, nivel del mar y *temperatura* en la costa norte de Chile. *Inves. Mar.*, 22: 83-101.
- Pizarro, O. 1999.** Low frequency fluctuations in the Eastern Boundary Current off South America: Remote and local forcing. Ph. D. Thesis. Earth Sciences Centre, Göteborg, 102 pp.
- Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas & J. Rutllant. 1997.** Circulation and lowfrequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991-92 El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, 27(2): 217-235.
- Silva, N., & A. Valdenegro. 2003.** Evolución de un evento de surgencia frente a punta Curaumilla, Valparaíso. *Inves. Mar.*, 31(2): 73-89.
- Simons, S. 2001.** Space-Time Correlation fields: Methods for Observing Wave-Velocities from-sparsely Sampled Data Set. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Bachelor of Science with Honors in Physics, College of William and Mary, 41 pp.
- Smith, R. 1992.** Coastal Upwelling in the modern ocean. En: C. P. Summerhayes, Prell y K. Emeis (eds). *The upwelling systems: Evolution since the early Miocene*. 64. Geological Society Special Publ., pp. 9-28.
- Smith, R. 1995.** The Physical processes of coastal ocean upwelling systems. En: C. P. Summerhayes, K. Emeis, M. Angel, R. Smith y B. Zeitzschel (eds). *Upwelling in the ocean: Modern processes and ancient records*. John Wiley & Sons, pp. 39-64.
- Strub, T., J. Mesías, V. Montecino, J. Rutlland & S. Salinas. 1998.** Coastal Ocean Circulation off western South America. En: A. R. Robinson y K. H. Brink (eds). *The Sea*. 11. John Wiley & Sons, pp. 273-314.
- Summerhayes, C. P., K. -C. Emeis, M. V. Angel, R. L. Smith & B. Zeitzschel. 1995.** Upwelling in the ocean: Modern processes and ancient records. En: Summerhayes, C. P., K. -C. Emeis, M. V. Angel, R. L. Smith y B. Zeitzschel (eds). *Upwelling in the ocean: Modern processes and ancient records*. John Wiley & Sons, pp. 1-37.
- Taunton-Clark, J. 1985.** The formation, growth and decay of upwelling tongues in response to the mesoscale wind field during summer. South African ocean color and upwelling experiment, Sea Fishery Institute, Cape Town.

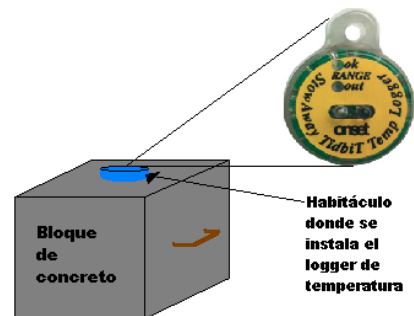


- Thomas, A. C. 1999.** Seasonal distributions of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. *J. Geophys. Res.*, 104(c11): 25877-25890.
- Thomas, A. C., J. L. Blanco, M. E. Carr, P. T. Strub, & J. Ossus. 2001,** Satellite measured chlorophyll and temperature variability off northern Chile during the 1996–1998 La Niña and El Niño. *J. Geophys. Res.*, 106: 899–915.
- Thomas, A. C., P. T. Strub, M. E. Carr & R. Weatherbee. 2004.** Comparisons of chlorophyll variability between the four major global eastern boundary currents. *Int. J. Remote Sensing*, 25(7–8): 1443–1447
- Thurman, H. V. 1988.** *Introductory Oceanography.* Merril Publishing Company, Columbus. 515 pp.
- Wieters, E. A., D. M. Kaplan, S. A. Navarrete, A. Sotomayor, J. L. Largier, K. Nielsen & F. Véliz. 2003.** Alongshore and temporal variability in chlorophyll-a concentration in Chilean nearshore waters. *Mar. Ecol. Progress Series*, 249: 93-105.
- Wyrтки, K. 1967.** Circulation and Water Masses in the eastern Pacific Ocean. *Inv. Oceanogr. and Limnol*, 1: 117-147.

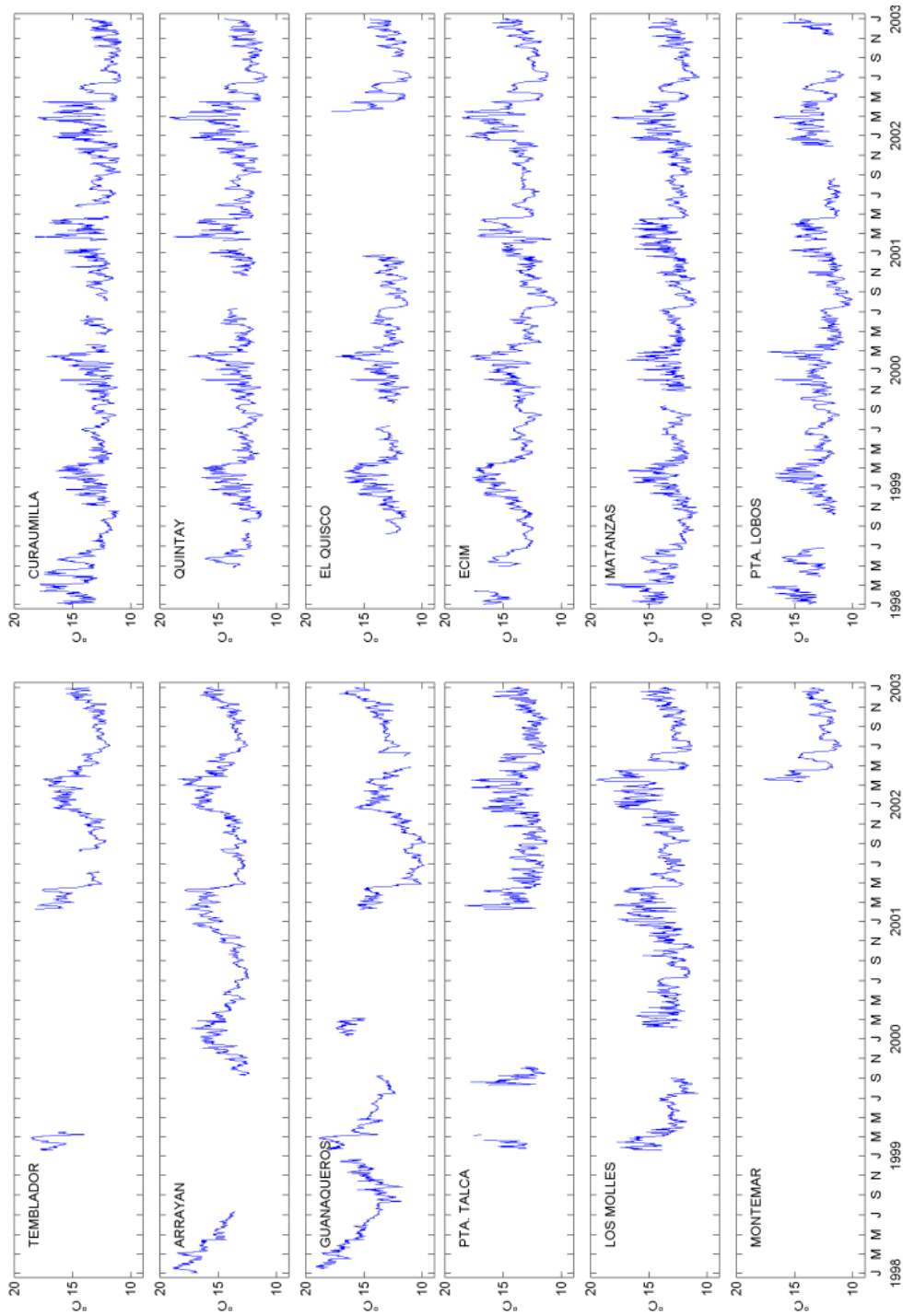
## **FIGURAS**



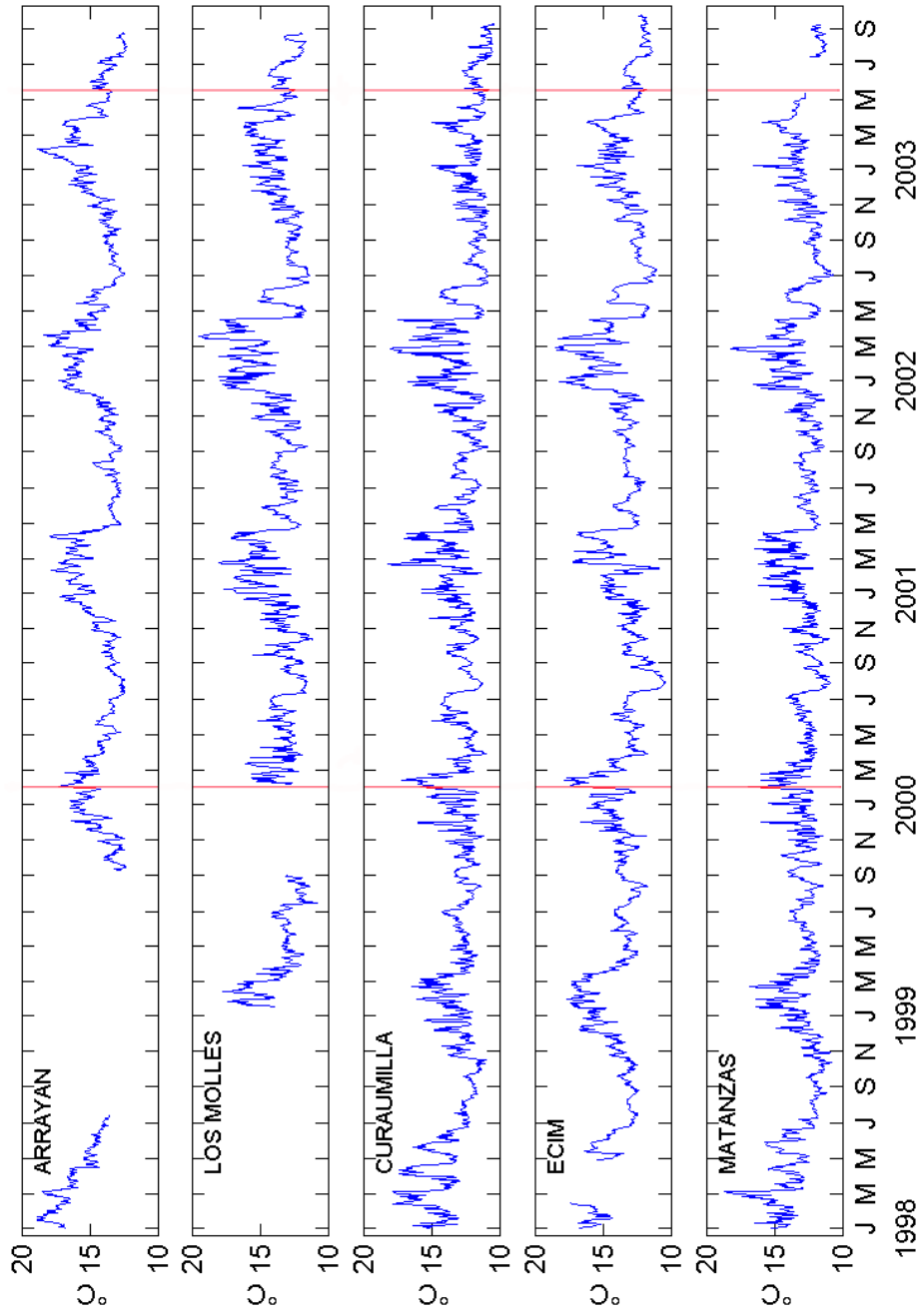
**Figura 1.** Localización de sitios en los cuales se hizo medición de temperatura del mar superficial en la costa con termistores. En los puntos amarillos se diferencian los cinco sitios elegidos.



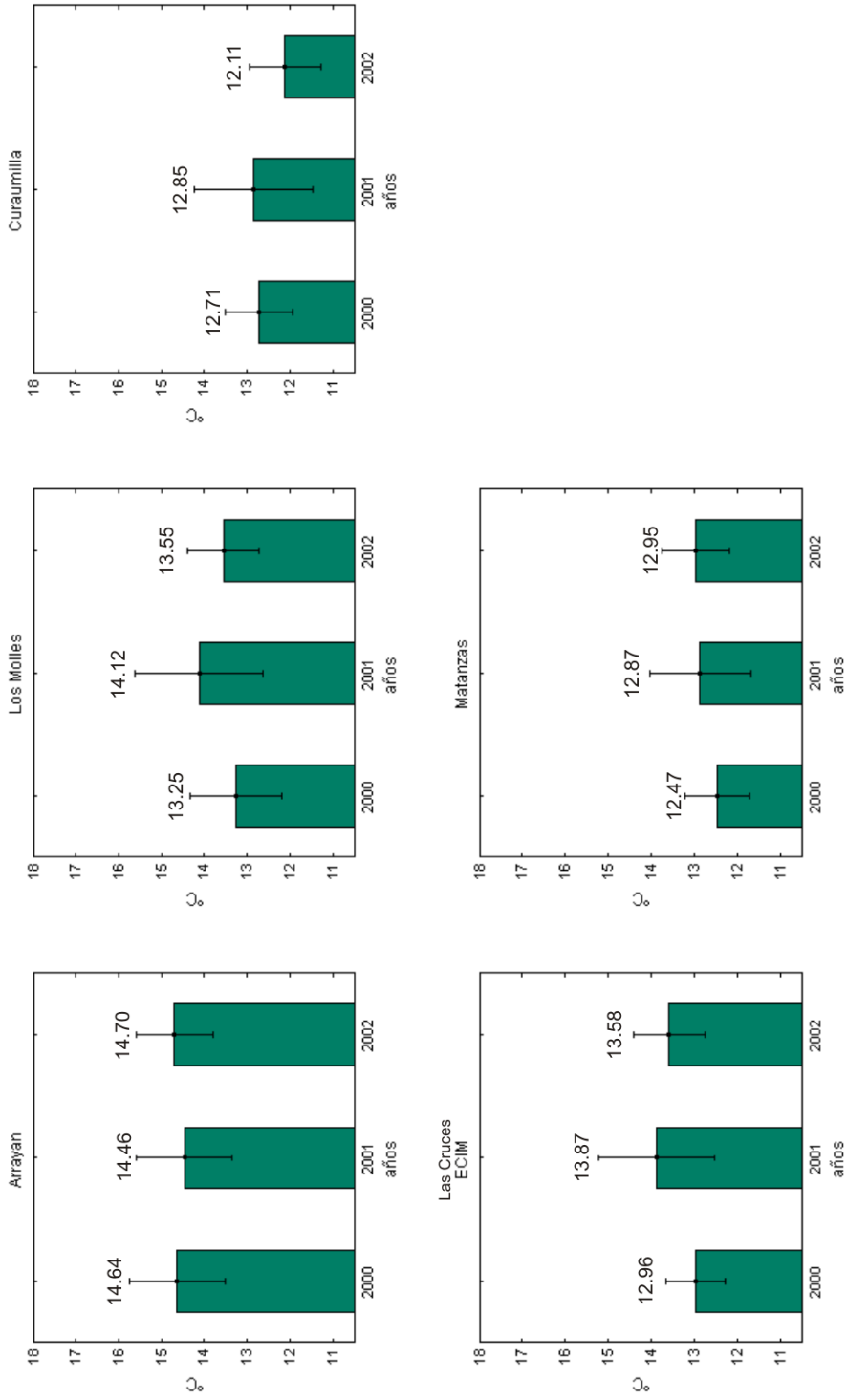
**Figura 2.** Esquema de instalación de Loggers de temperatura StowAway Tidbit en un bloque.



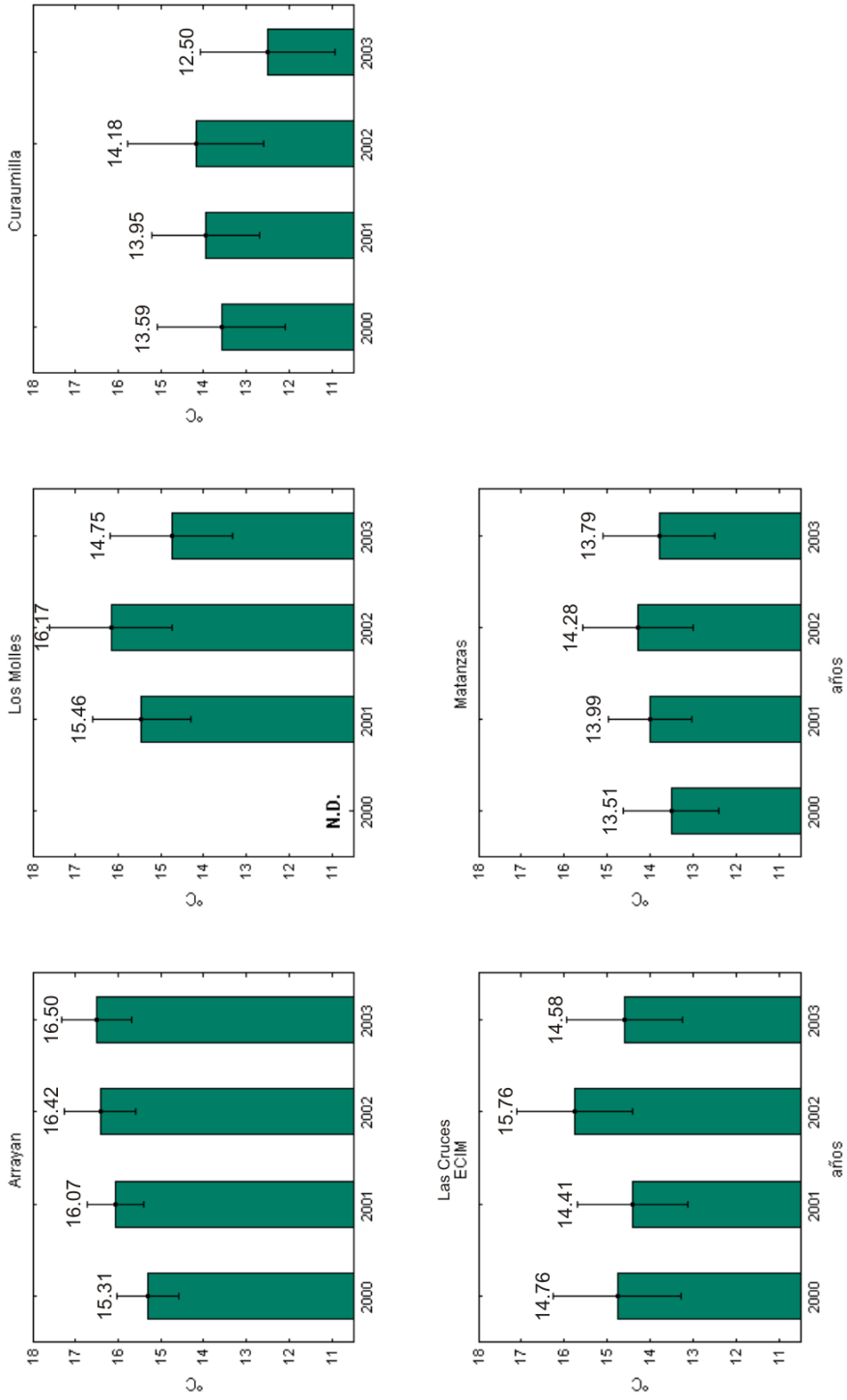
**Figura 3.** Series de promedios diarios de temperaturas superficiales del mar costeras para doce sitios.



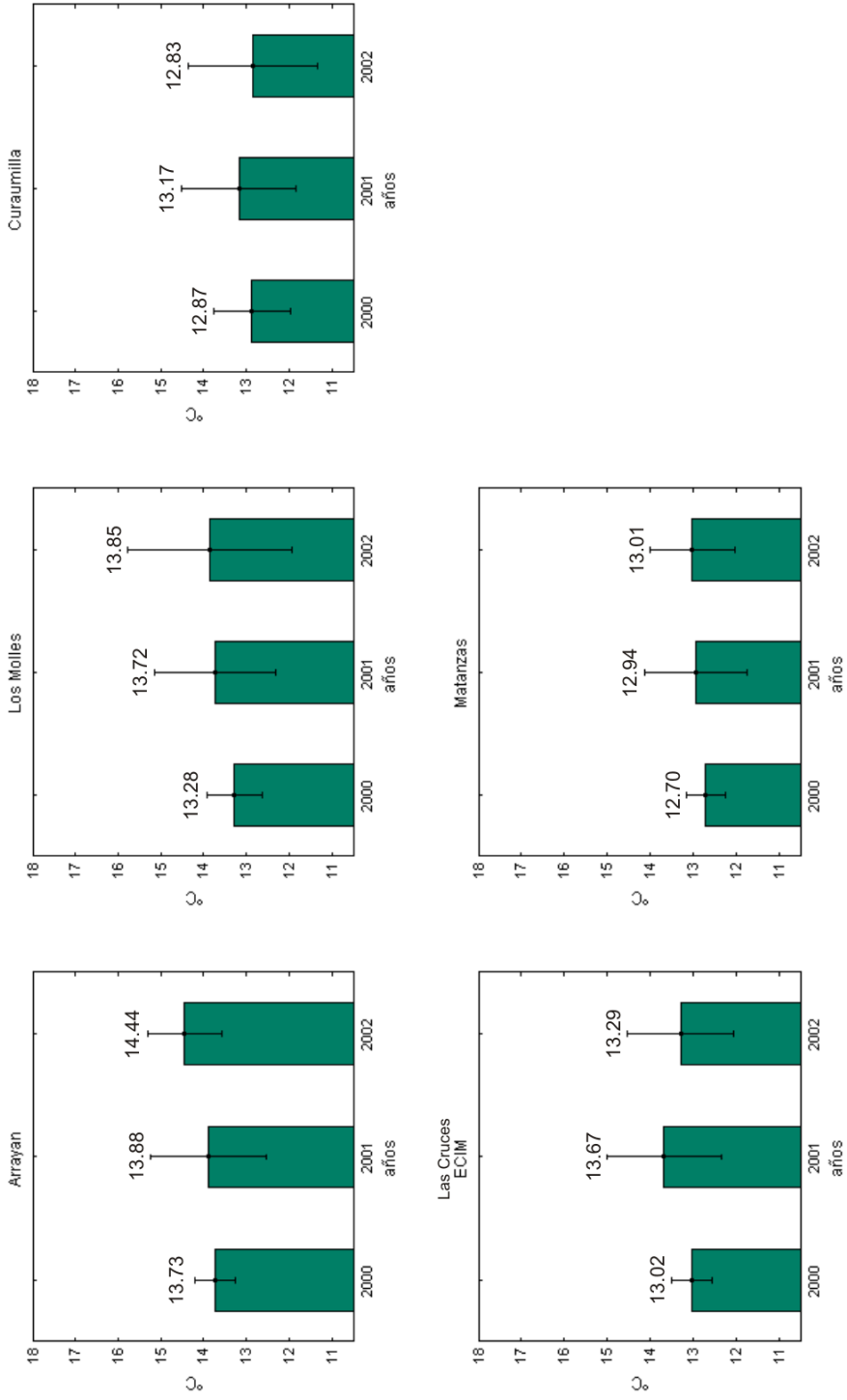
**Figura 4.** Series de TSMC elegidas para el estudio. Las líneas rojas representan el segmento de tiempo tomado para realizar los análisis correspondientes.



**Figura 5.** Promedios de TSMC para el periodo de primavera para cada sitio de estudio y separado por años.

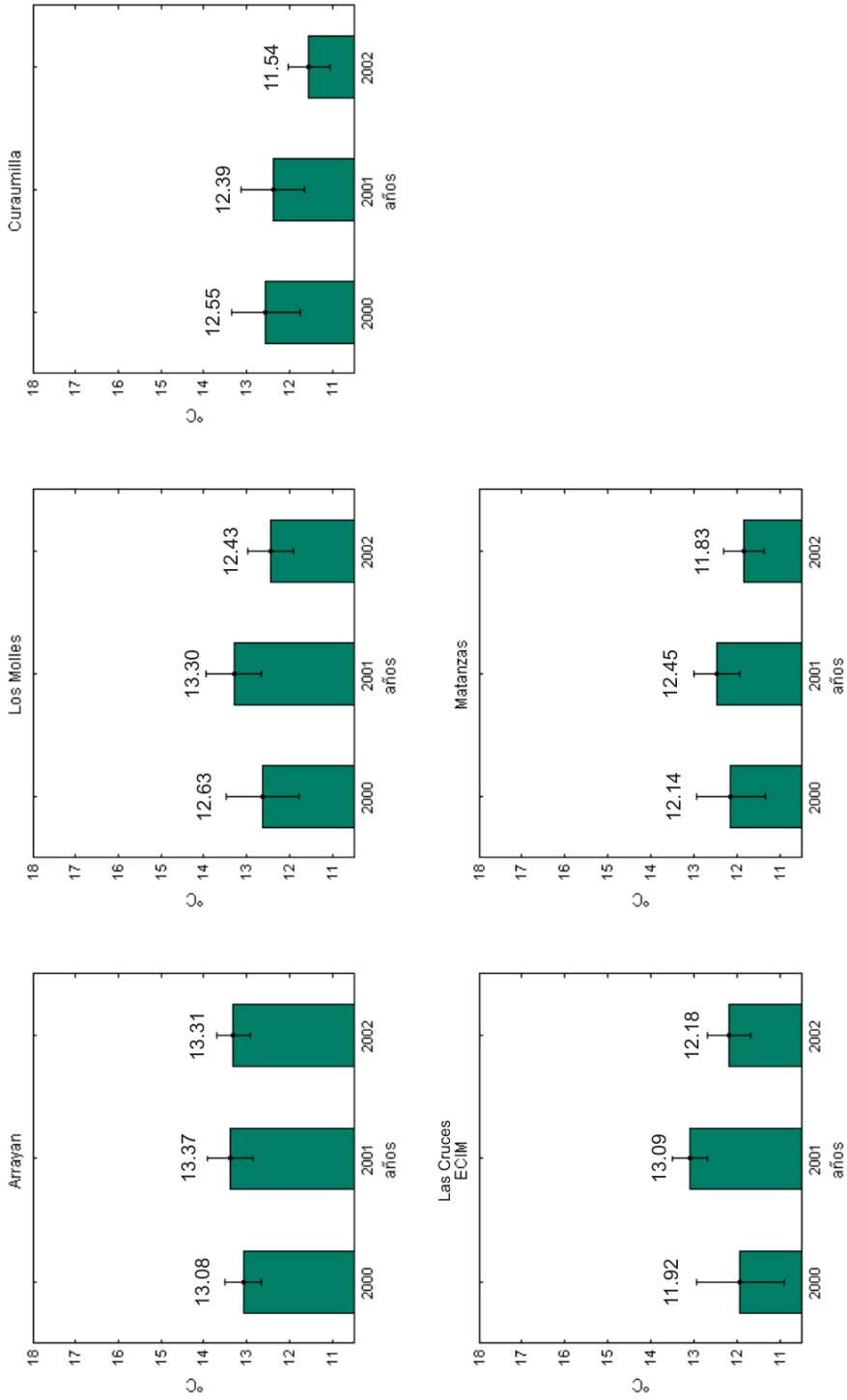


**Figura 6.** Promedios de TSMC para el periodo de verano para cada sitio de estudio y separado por años. La sigla N.D. significa “No hay datos”, lo cual quiere decir que para este periodo la cantidad de datos fue insuficiente para calcular el promedio estacional.

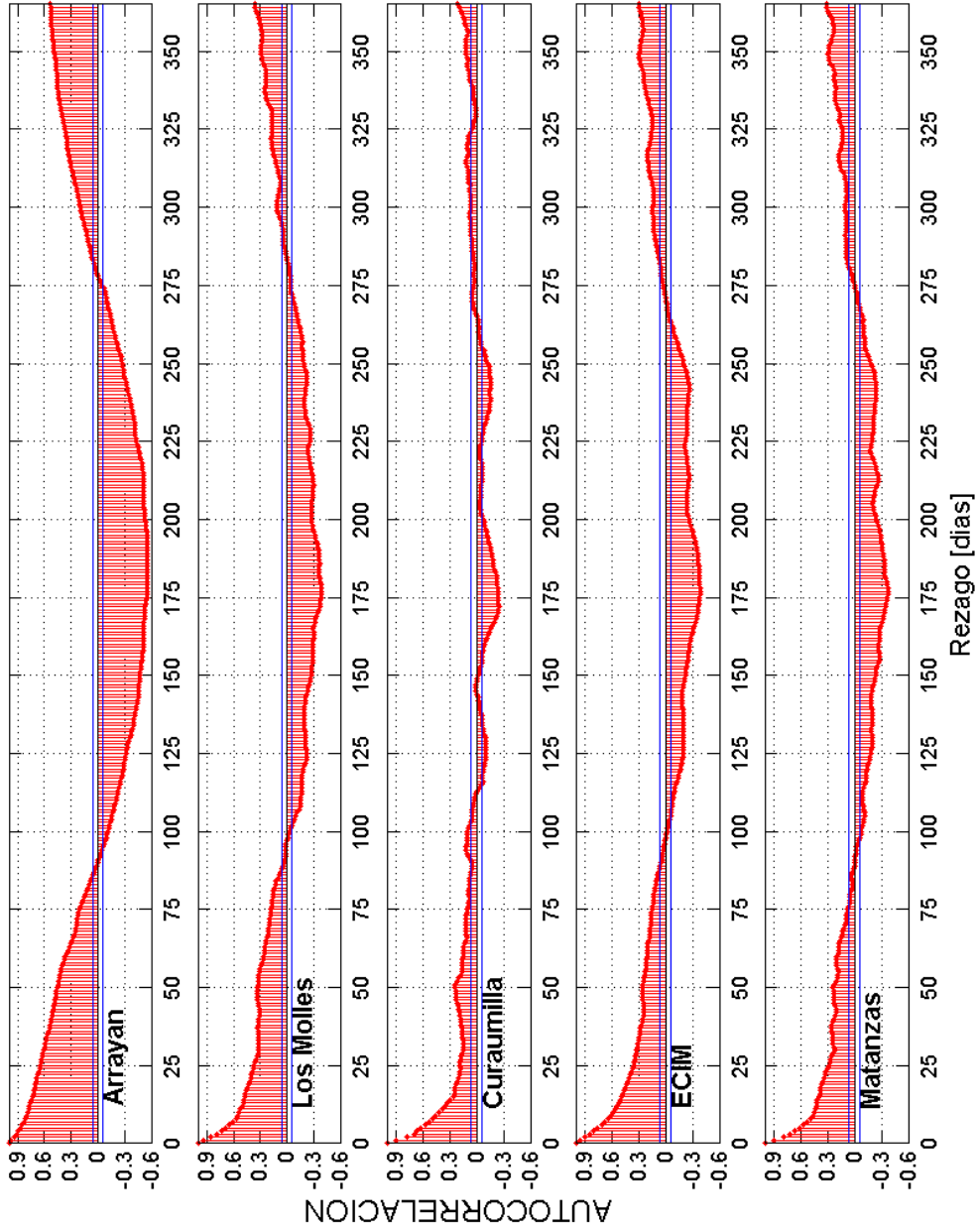


**Figura 7.** Promedios de TSMC para el periodo de otoño para cada sitio de estudio y separado por años.

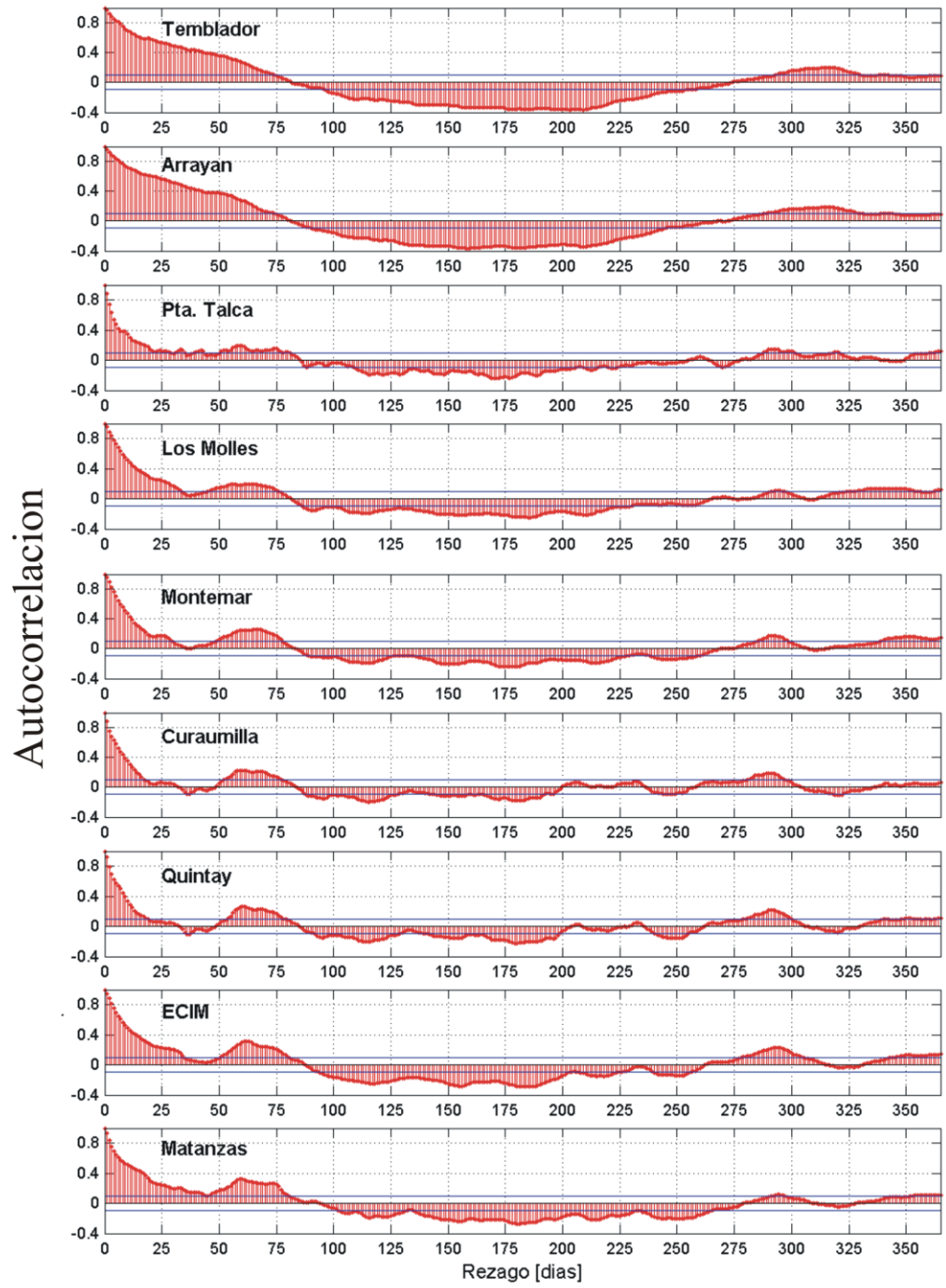




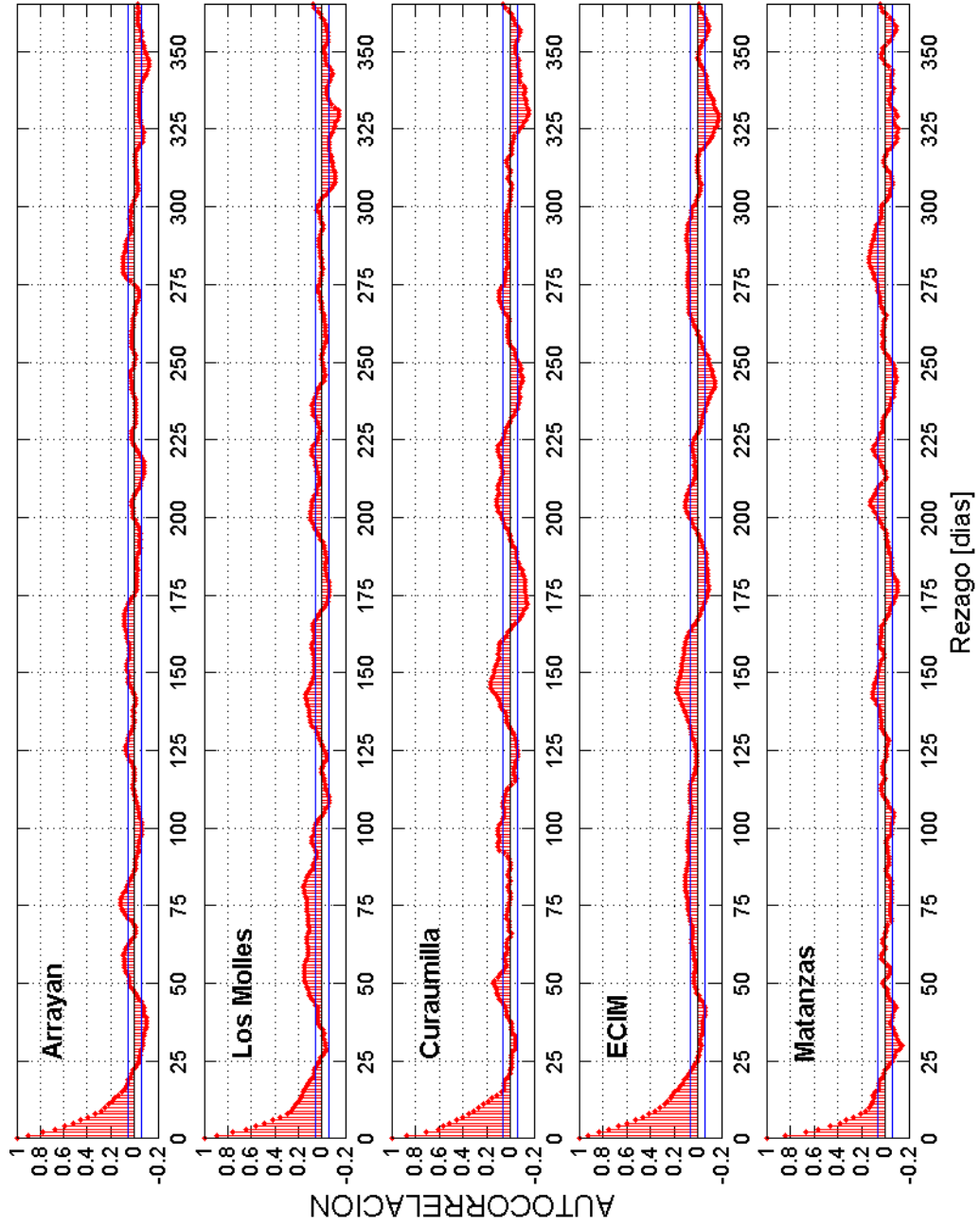
**Figura 8.** Promedios de TSMC para el periodo de invierno para cada sitio de estudio y separado por años.



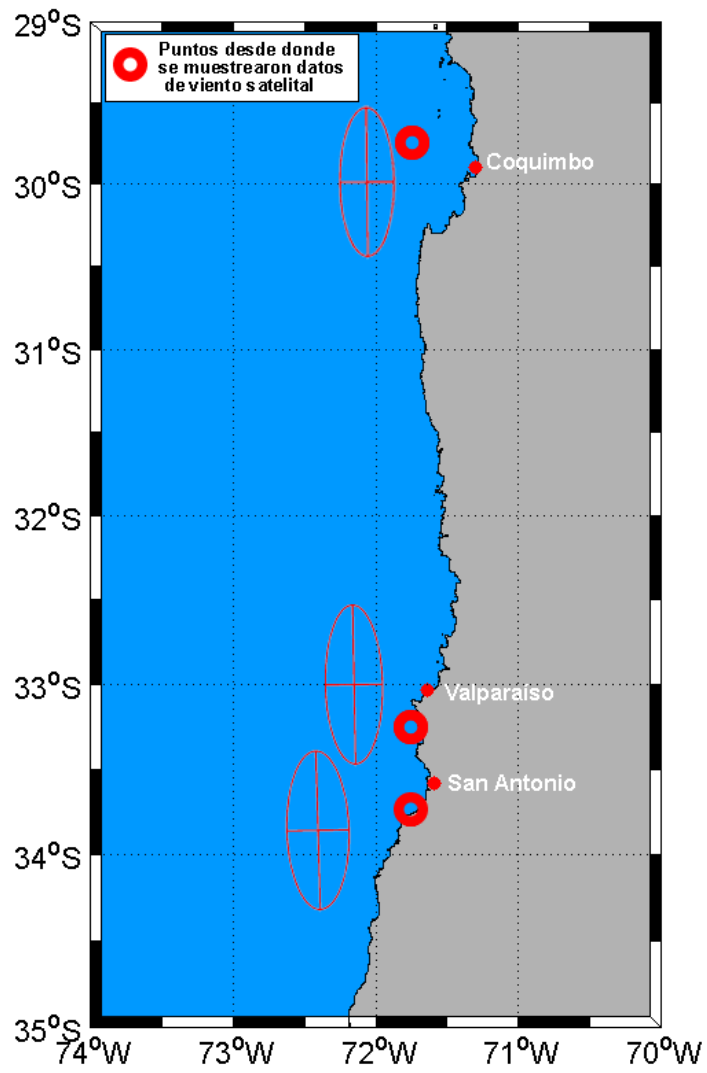
**Figura 9.** Autocorrelación de registros no filtrados de TSMC obtenidos en cinco sitios elegidos.



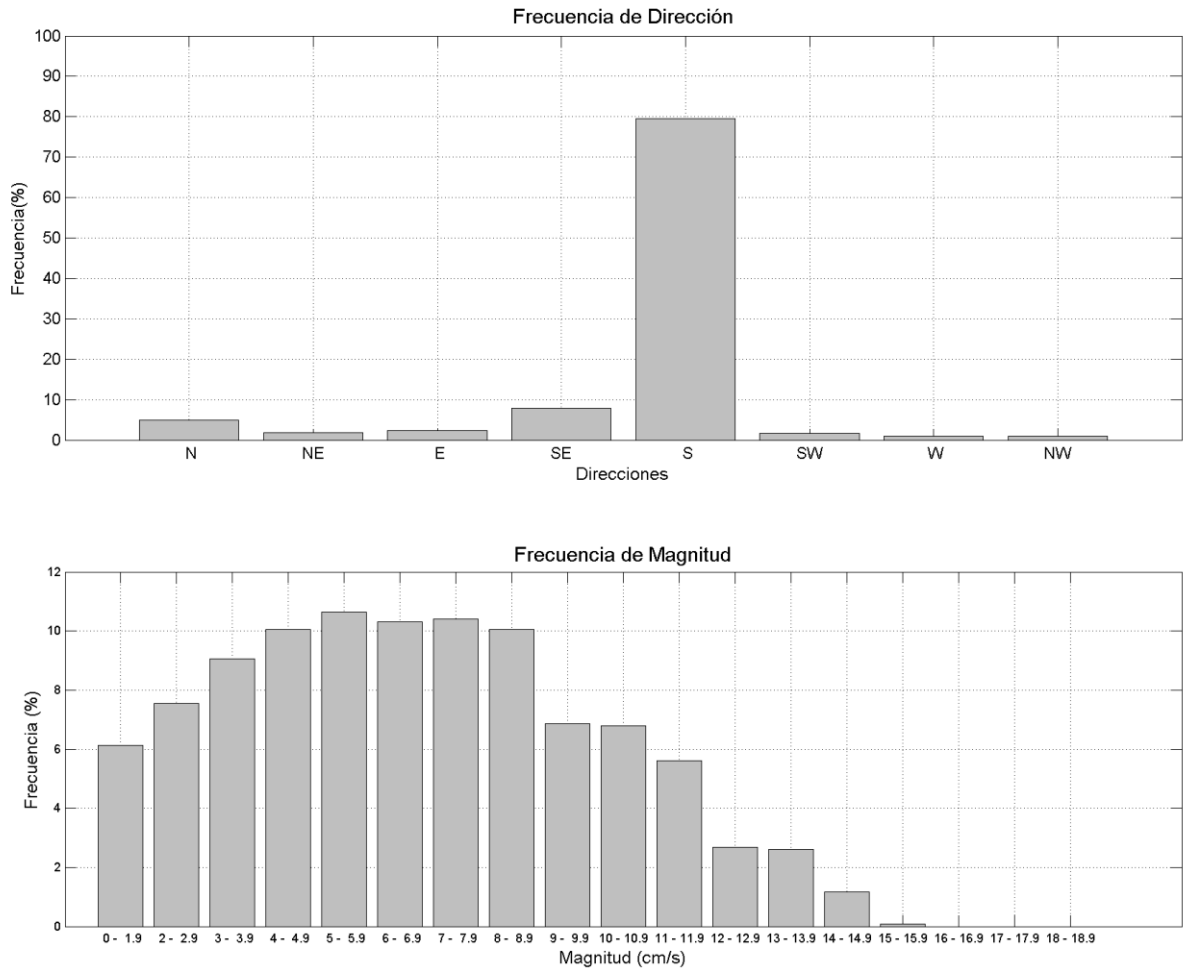
**Figura 10.** Autocorrelación de registros no filtrados de TSMC obtenidos en nueve sitios (series de 425 días).



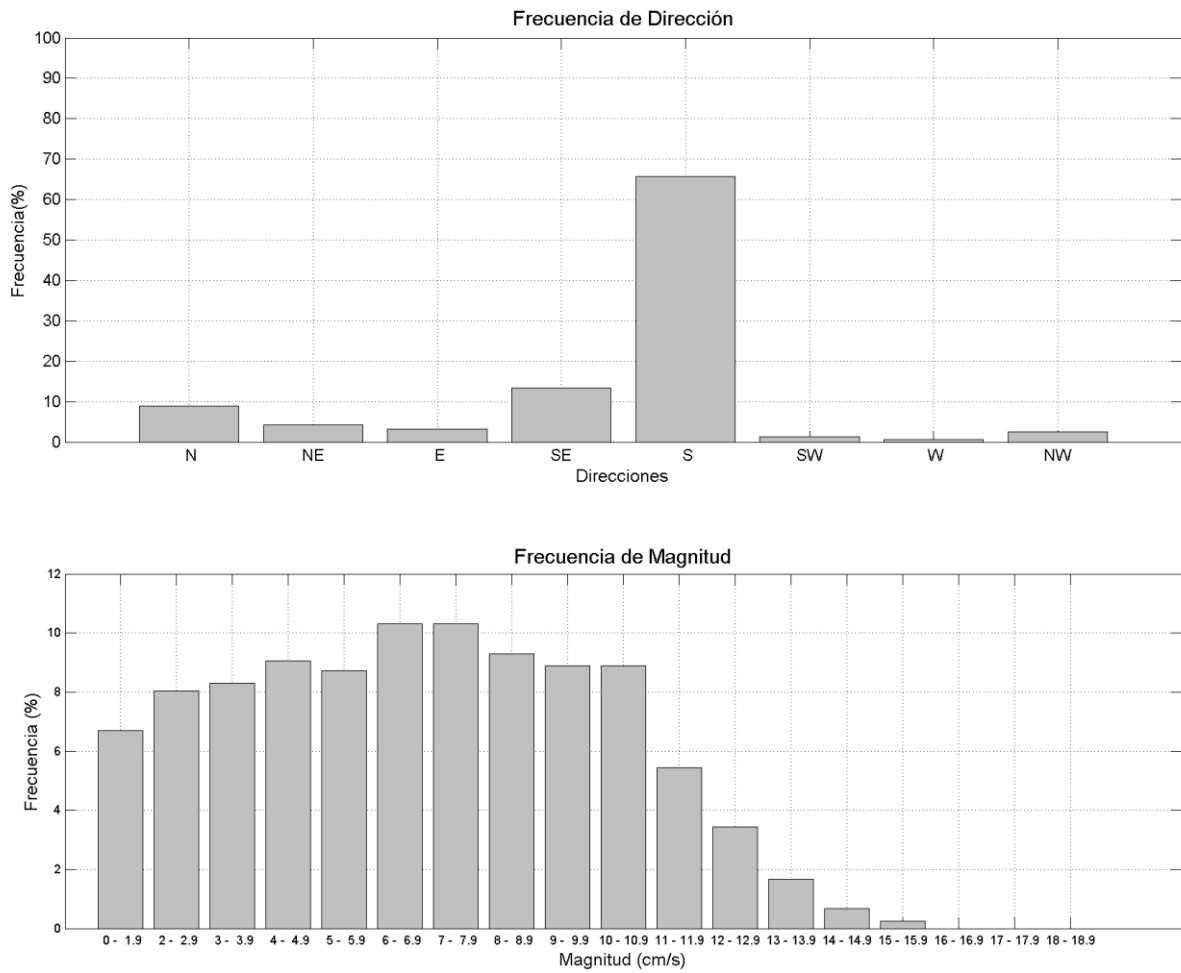
**Figura 11.** Autocorrelación de registros filtrados de TSMC obtenidos en cinco sitios elegidos.



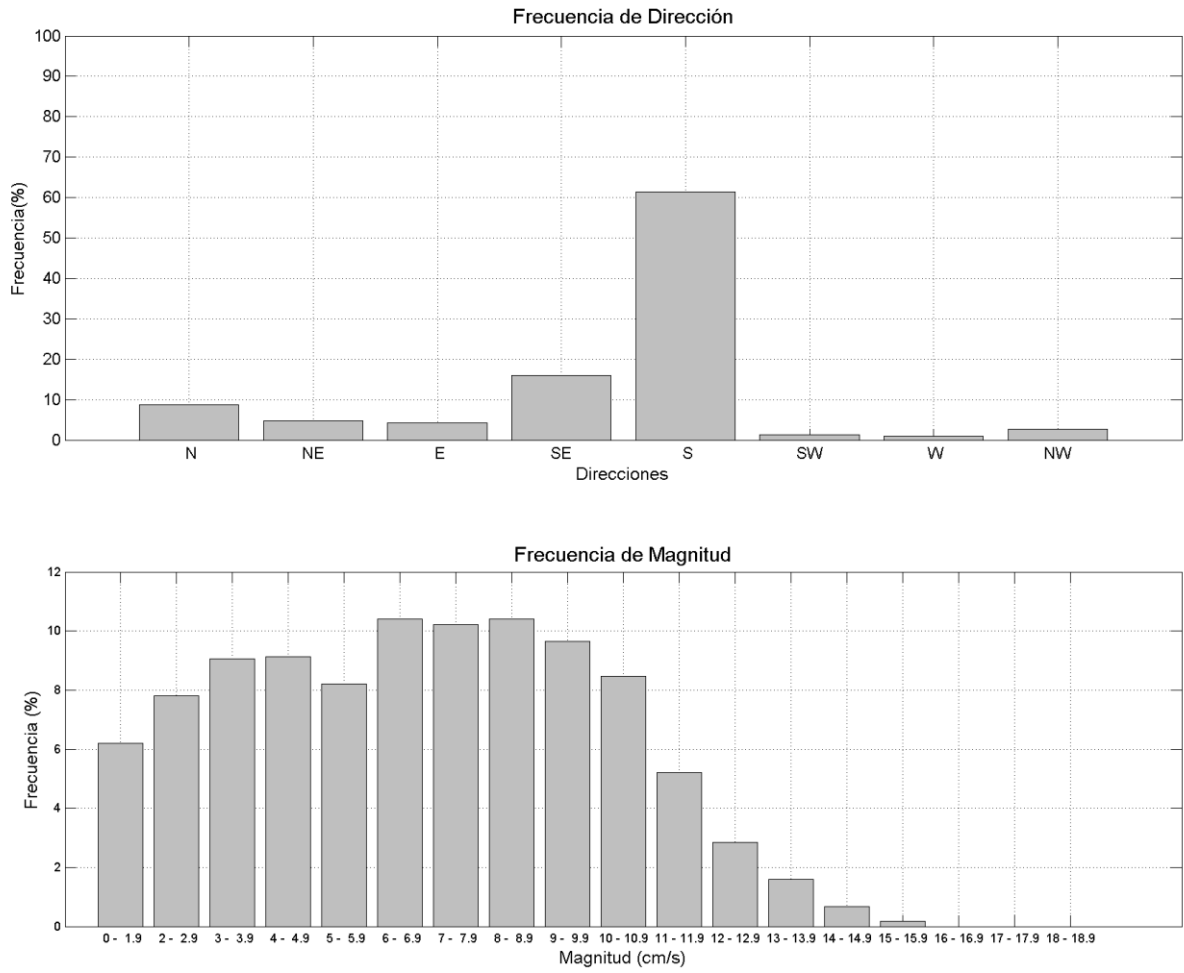
**Figura 12.** Localización de los puntos geográficos que se utilizaron para obtener datos de viento del satélite QuickScat con sus respectivos ejes de máxima varianza.



**Figura 13.** Frecuencias de dirección y magnitud del viento satelital medido en las cercanías de Coquimbo durante años 2000 y 2003.

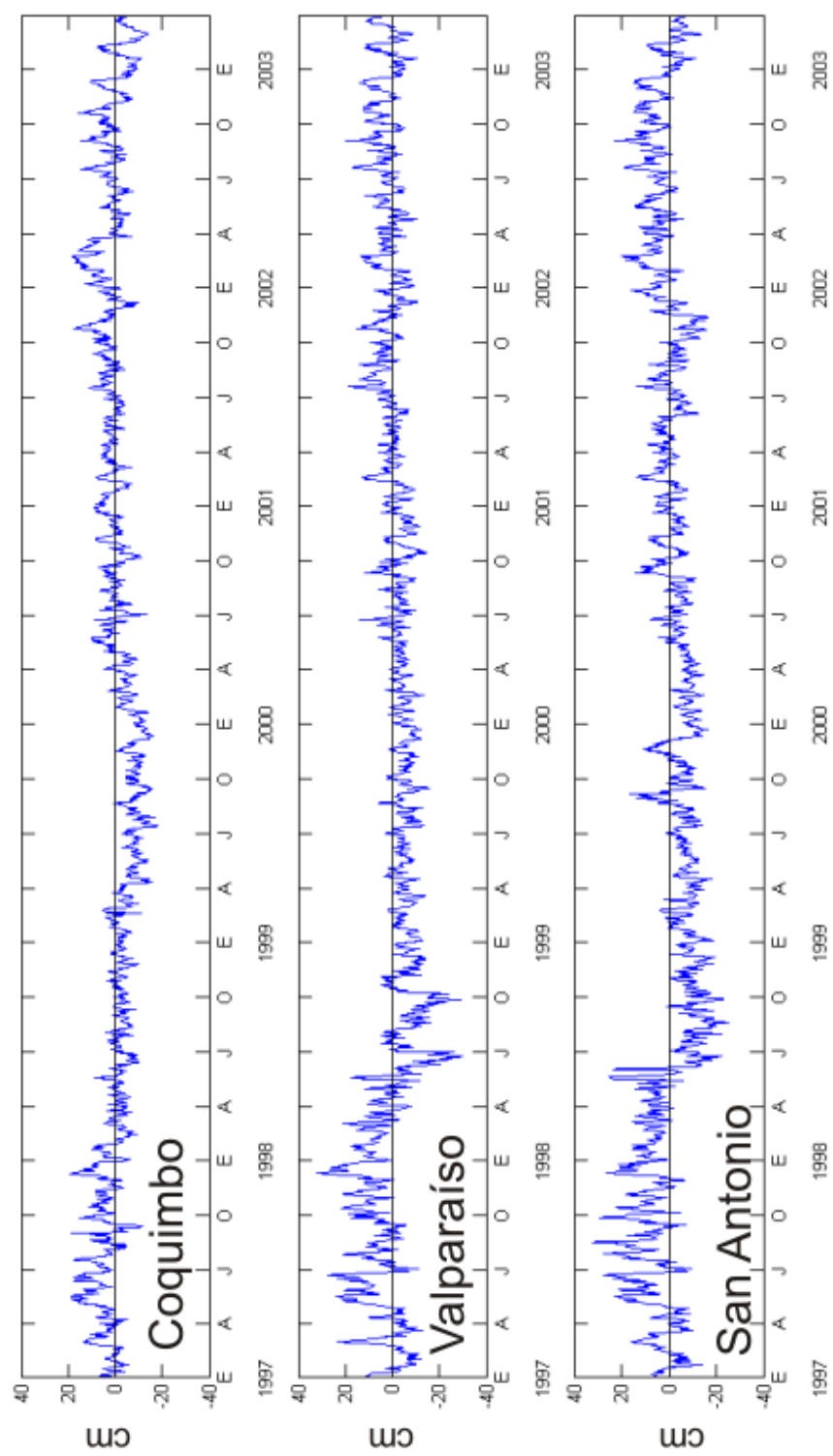


**Figura 14.** Frecuencias de dirección y magnitud del viento satelital medido en las cercanías de Valparaíso durante años 2000 y 2003.

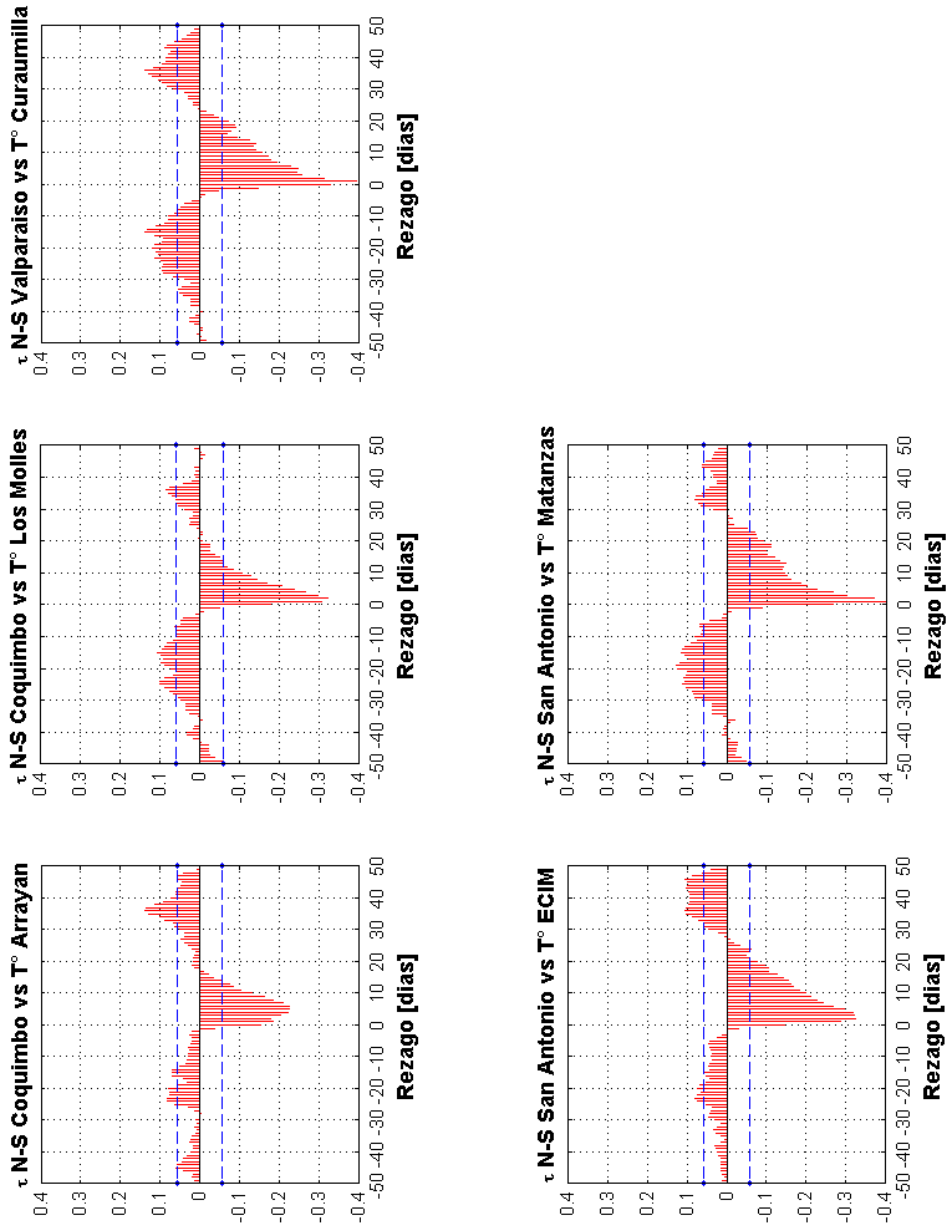


**Figura 15.** Frecuencias de dirección y magnitud del viento satelital medido en las cercanías de San Antonio durante años 2000 y 2003.

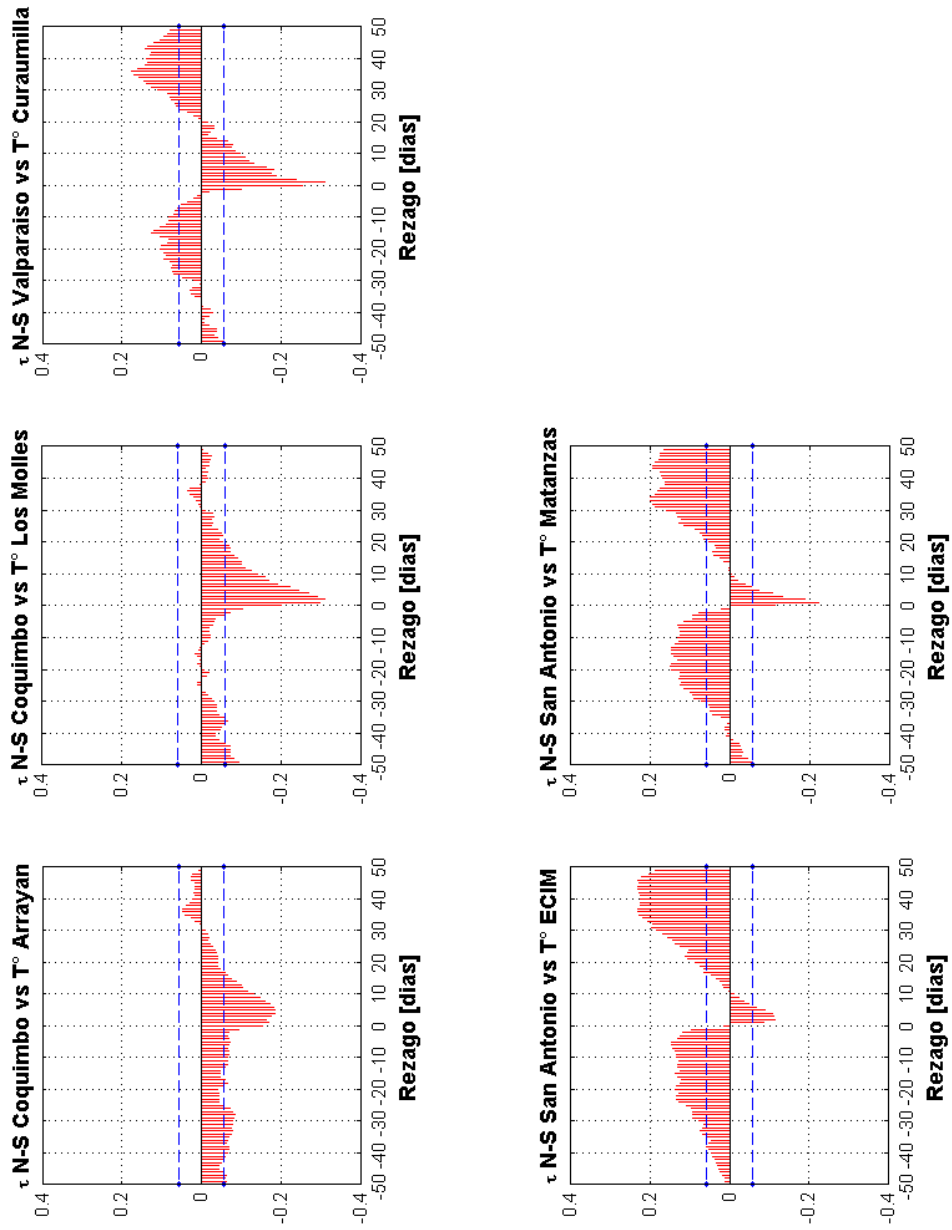




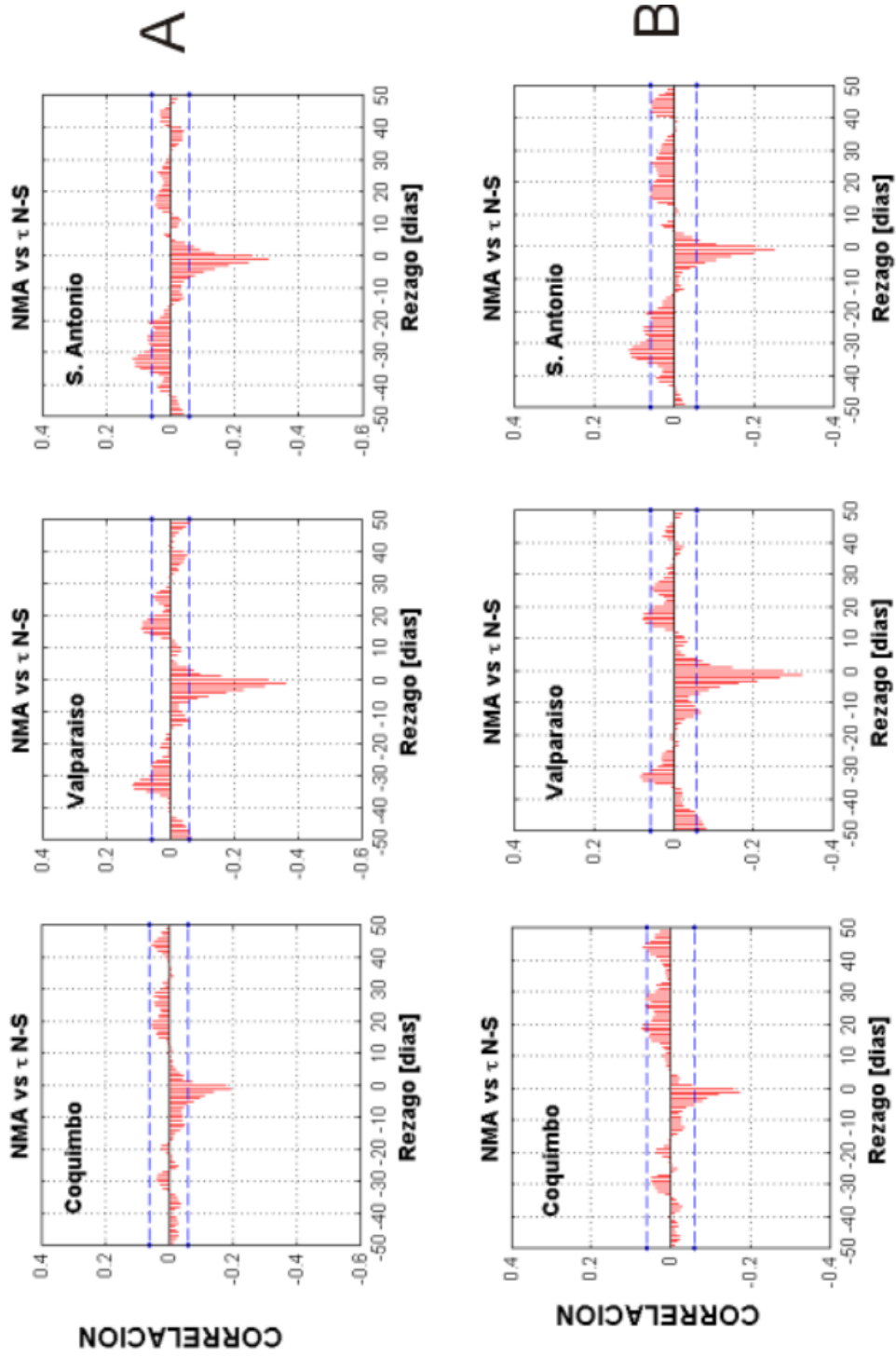
**Figura 16.** Series de nivel del mar ajustado de enero 1997 a febrero 2003.



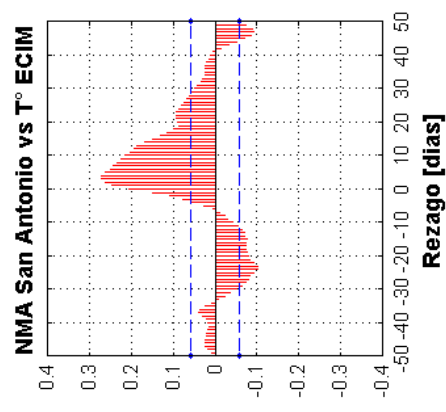
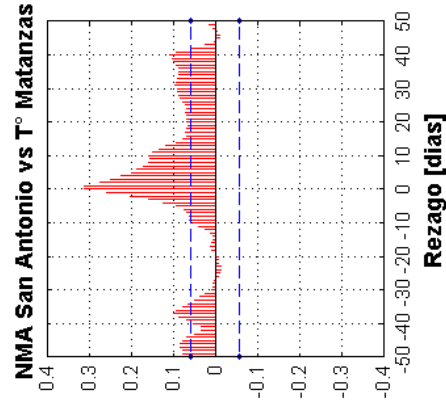
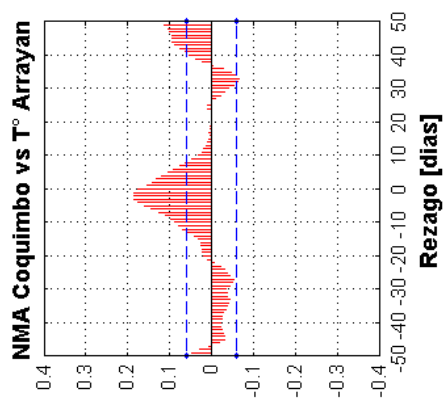
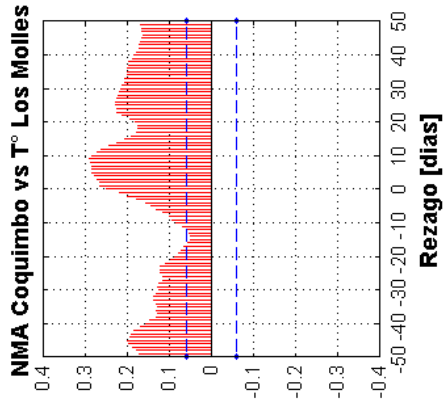
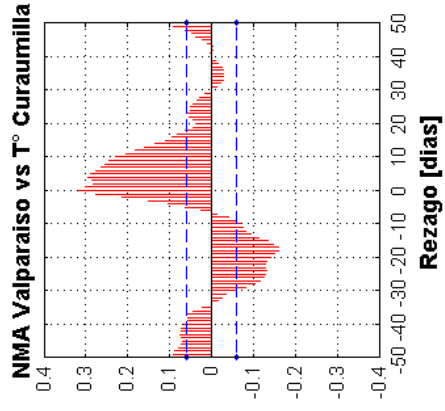
**Figura 17.** Correlaciones cruzadas entre series de tiempo filtradas de EVM y TSMC, ocupando un máximo de 50 días de retraso.



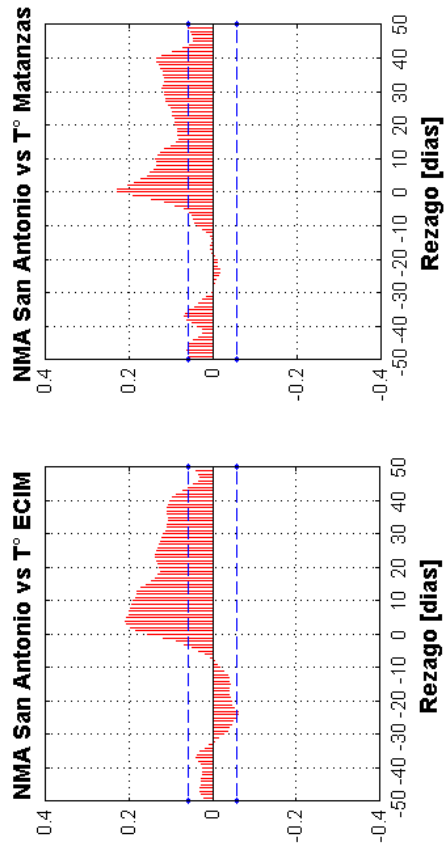
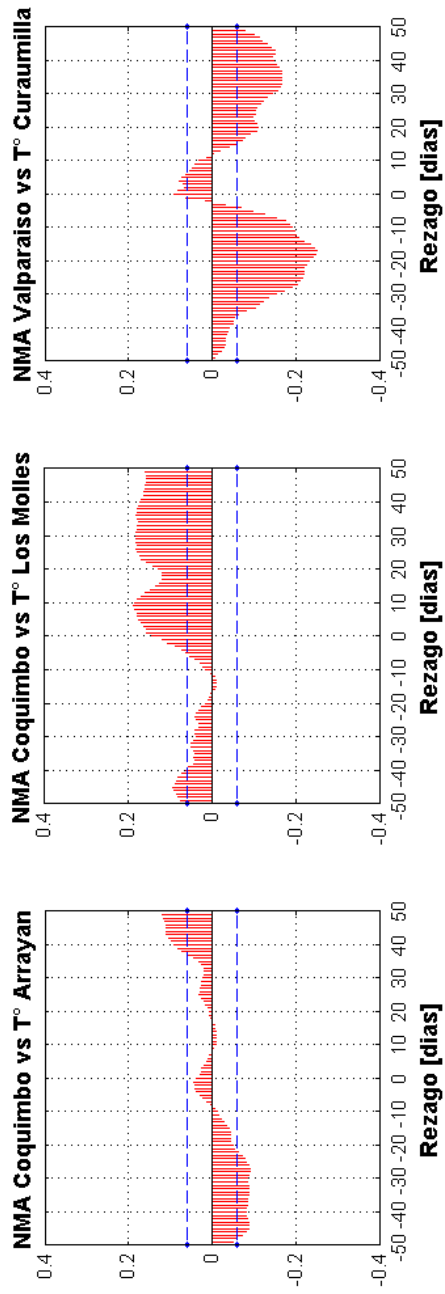
**Figura 18.** Correlaciones cruzadas entre series de tiempo no filtradas de EVM y TSMC, ocupando un máximo de 50 días de retraso.



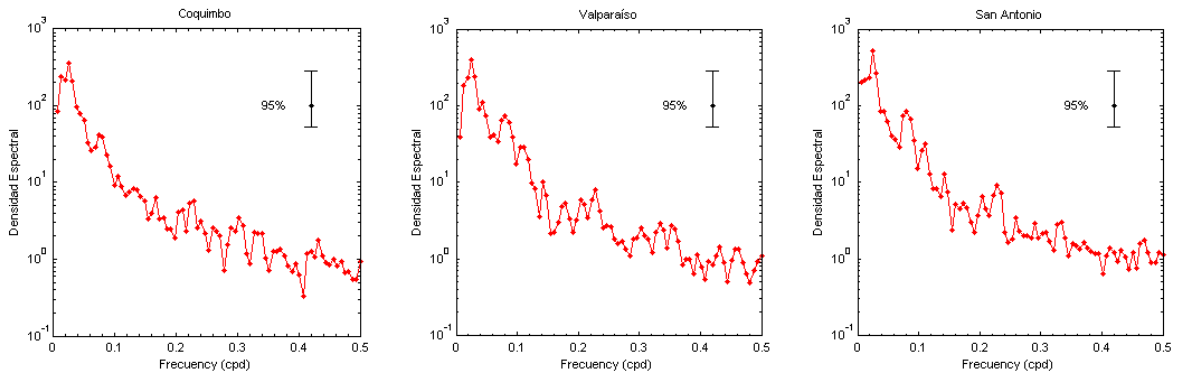
**Figura 19.** Correlaciones cruzadas entre series de tiempo filtradas (A) y no filtradas (B) de NMA y EVM, ocupando un máximo de 50 días de retraso.



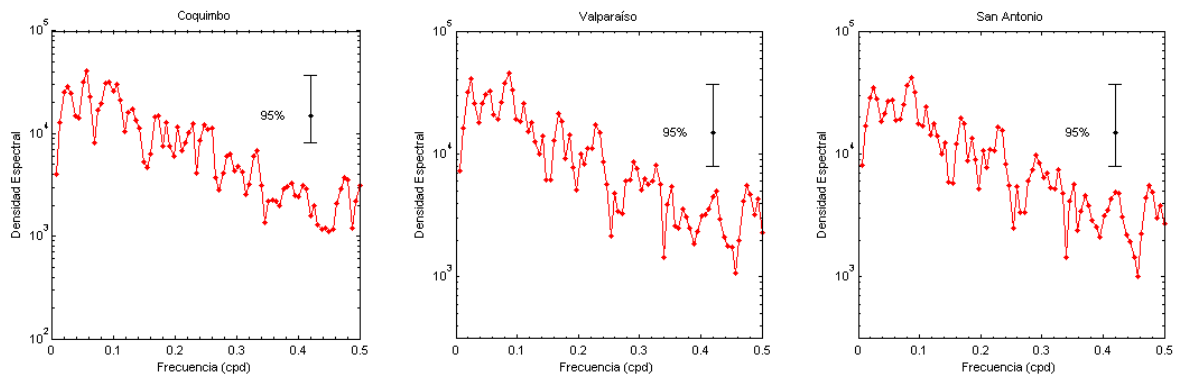
**Figura 20** Correlaciones cruzadas entre series de tiempo filtradas de NMA y TSMC, ocupando un máximo de 50 días de retraso.



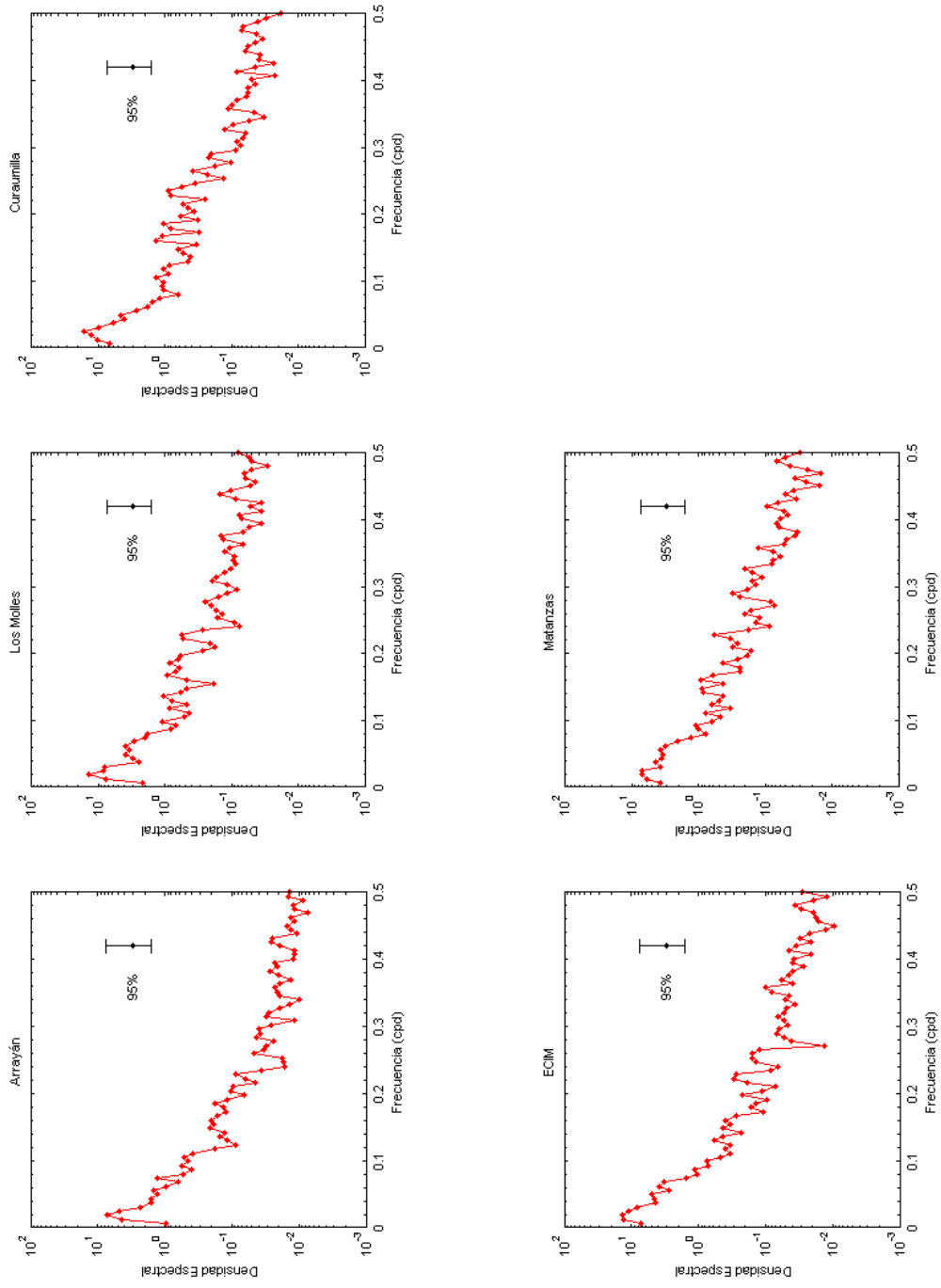
**Figura 21** Correlaciones cruzadas entre series de tiempo no filtradas de NMA y TSMC, ocupando un máximo de 50 días de retraso.



**Figura 22.** Espectros de series de tiempo de nivel del mar de Coquimbo, Valparaíso y San Antonio.

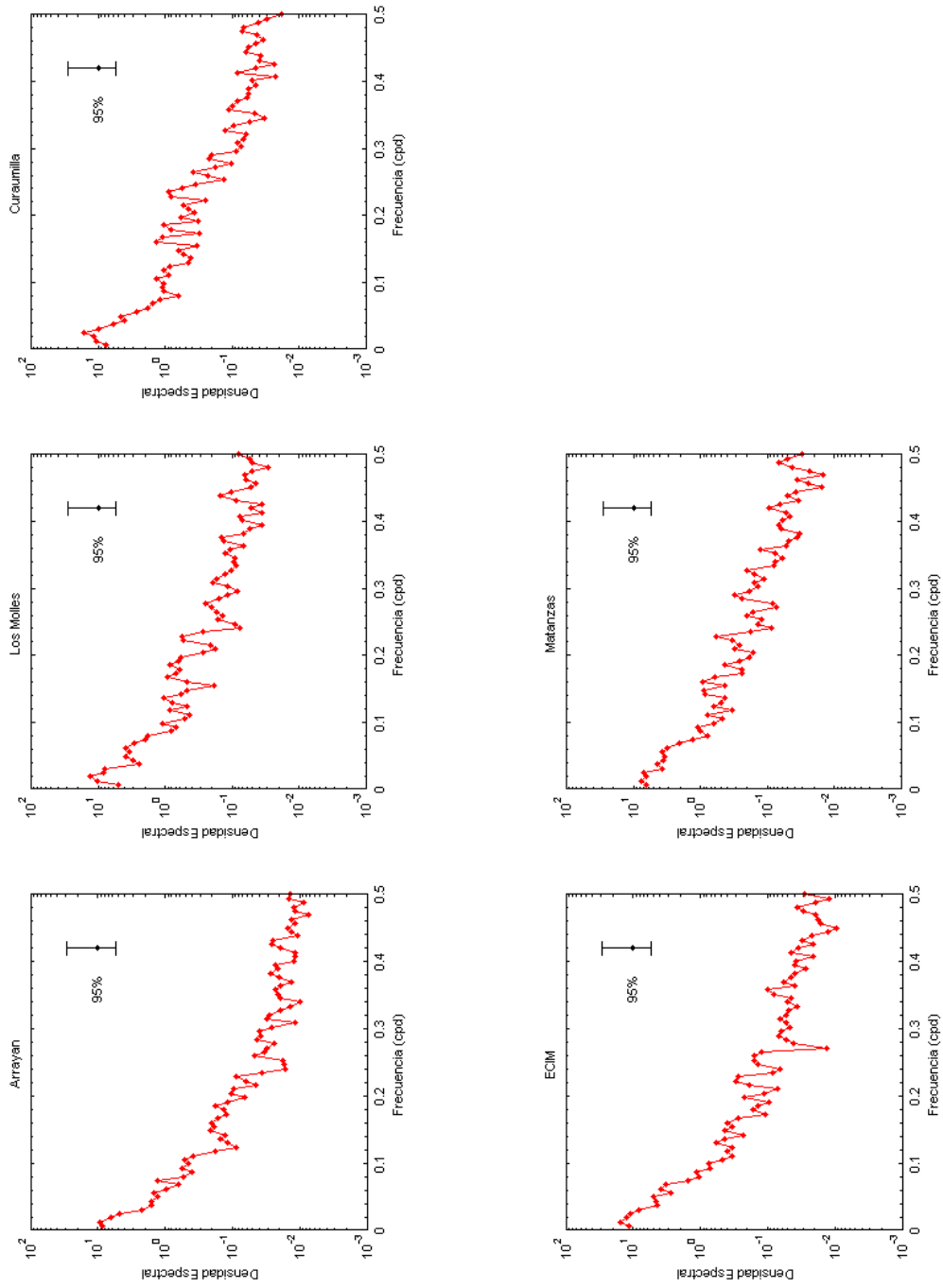


**Figura 23.** Espectros de series de tiempo de estrés del viento meridional para Coquimbo, Valparaíso y San Antonio.

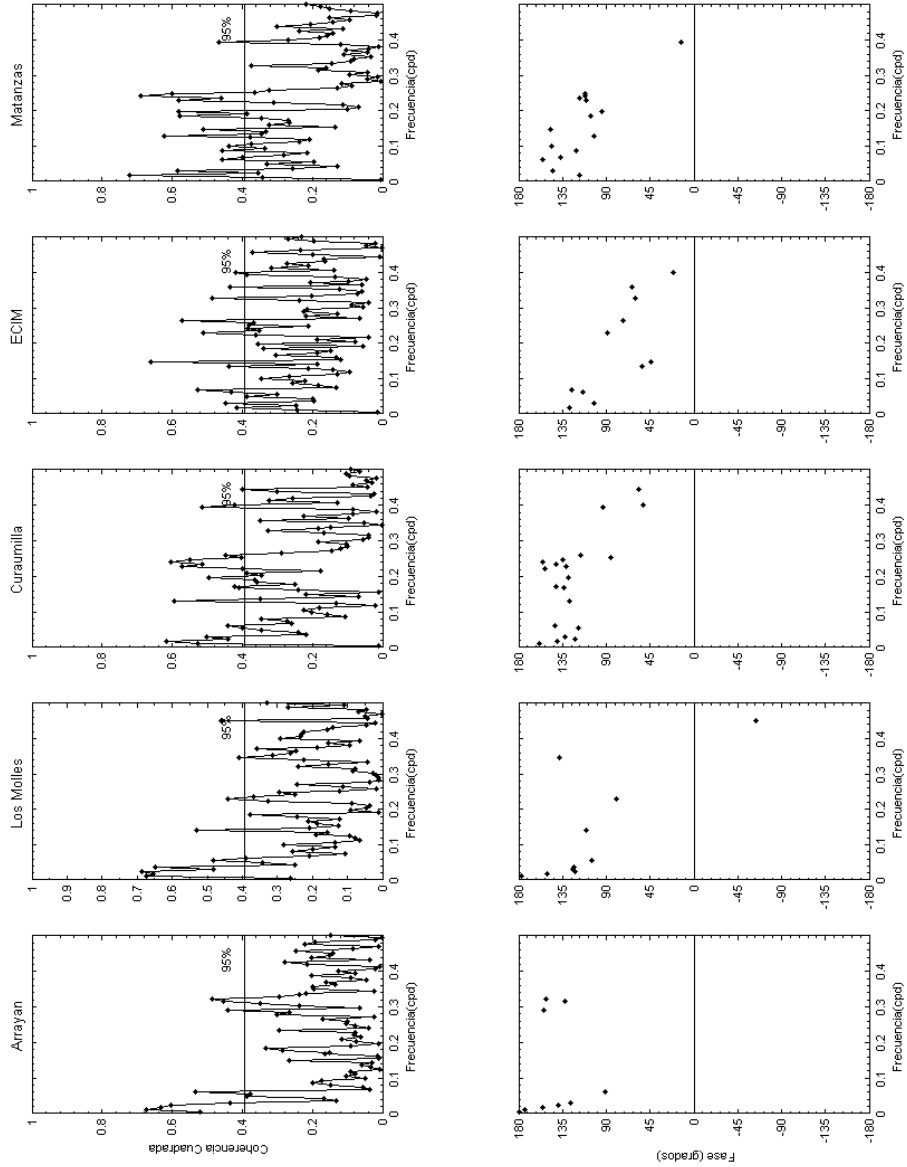


**Figura 24.** Espectros de series de tiempo temperatura superficial del mar costera filtradas para los cinco sitios elegidos.

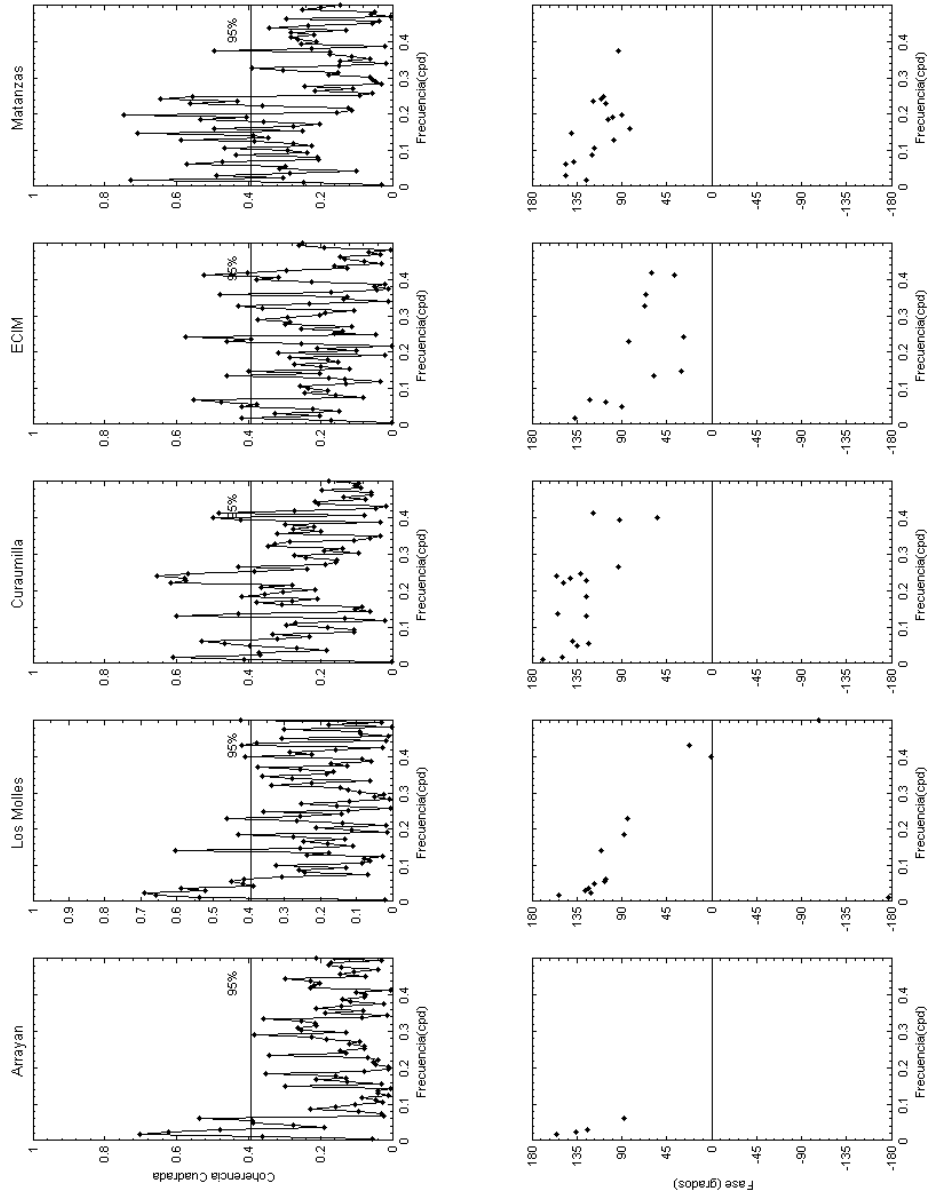




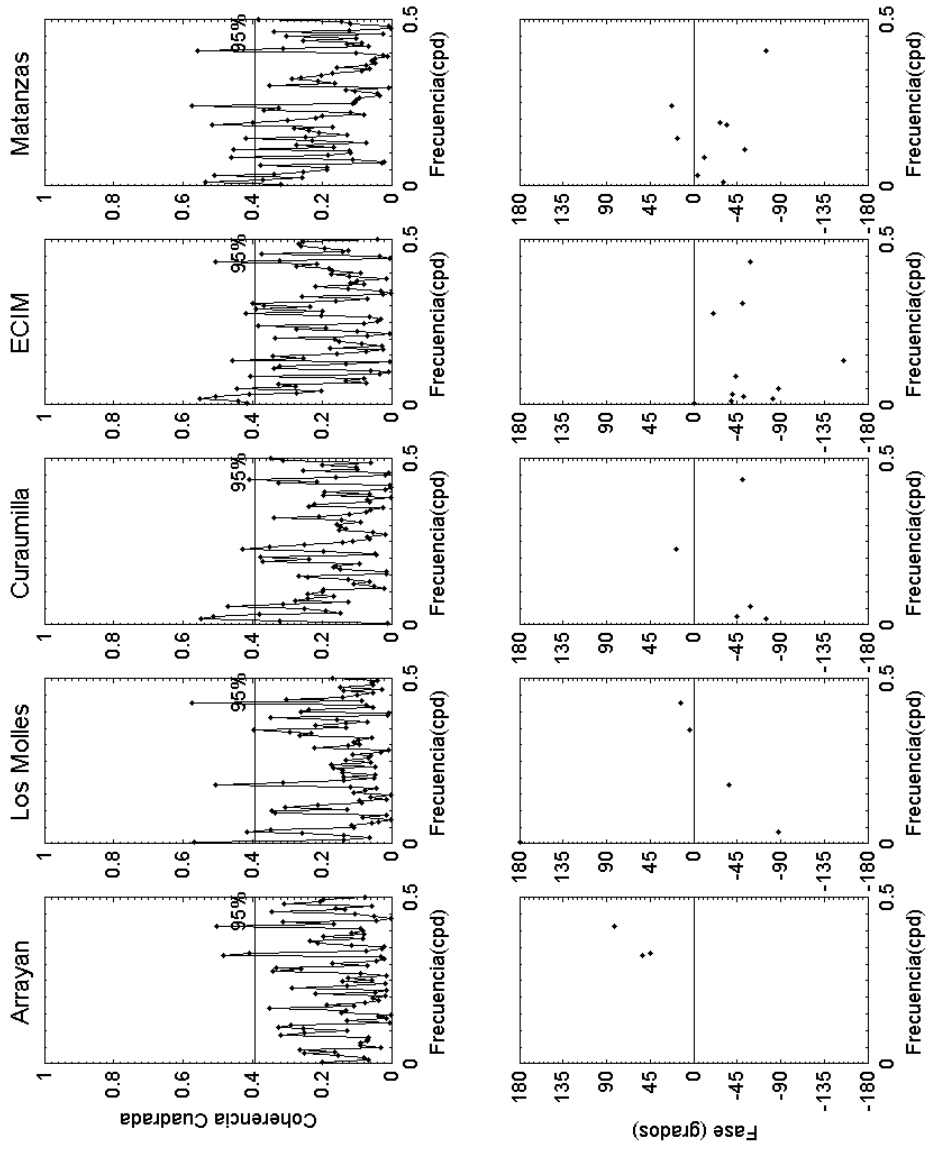
**Figura 25.** Espectros de series de tiempo de temperatura superficial del mar costera no filtradas para los cinco sitios elegidos.



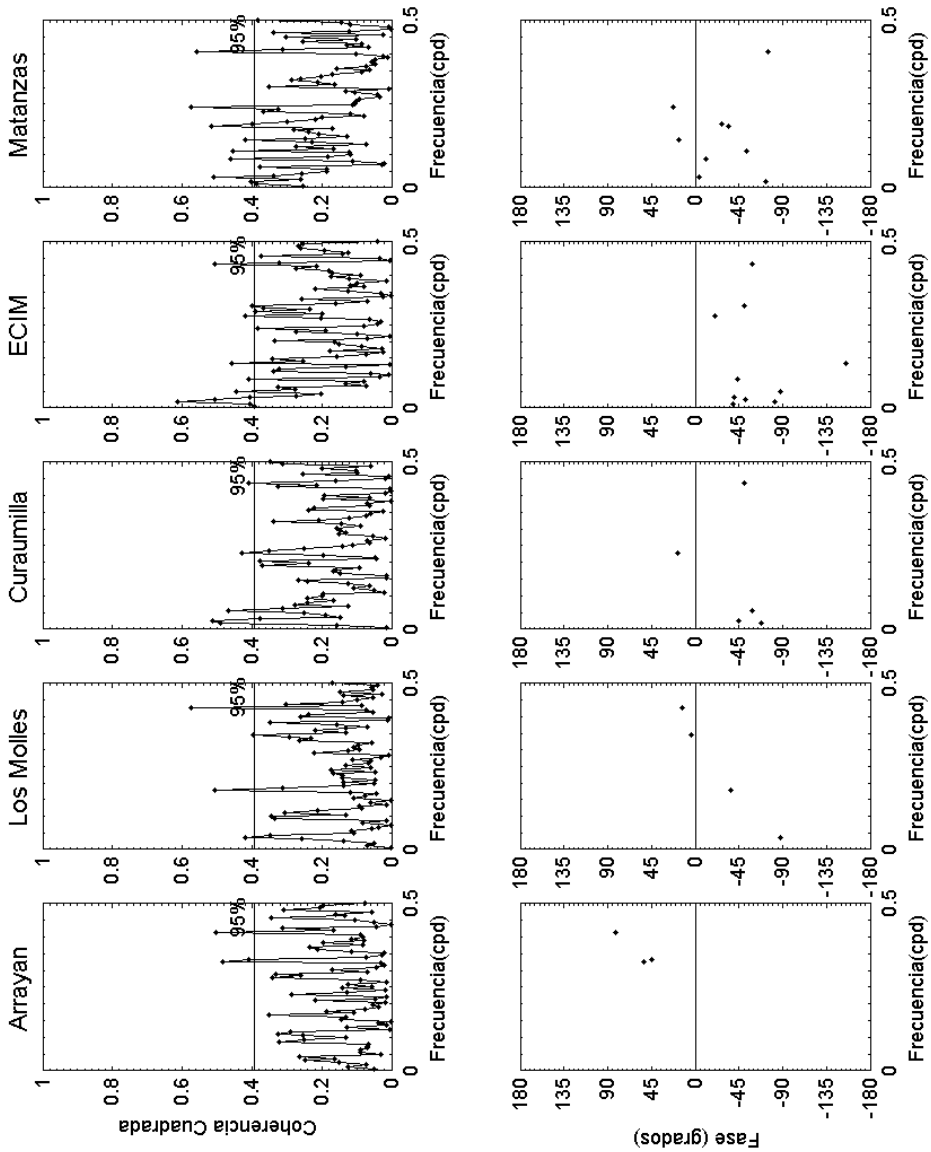
**Figura 26.** Espectros de coherencias y fases entre series filtradas de EVM y TSMC para los cinco sitios elegidos.



**Figura 27.** Espectros de coherencias y fases entre series sin filtrar de EVM y TSMC para los cinco sitios elegidos.



**Figura 28.** Espectros de coherencias y fases entre series filtradas de NMA y TSMC para los cinco sitios elegidos.



**Figura 29.** Espectros de coherencias y fases entre series sin filtrar de NMA y TSMC para los cinco sitios elegidos.

## TABLAS

**Tabla 1.** Estaciones de muestreo de temperatura superficial del mar costero con su correspondiente posición geográfica. Las localidades utilizadas para el presente estudio se encuentran sombreadas, con un rango de registro entre 5/2/2000 hasta el 31/12/2003.

Sitio de estudio	Latitud [°S]	Longitud [°W]
Temblador	29°30'25''	71°19'47''
Arrayán	29°41'43''	71°19'16''
Guaqueiros	30°11'57''	71°28'46''
Punta Talca	30°55'48''	71°40'49''
Los Molles	32°14'36''	71°30'54''
Montemar	32°57'27''	71°32'58''
Punta Curaumilla	33°06'05''	71°44'02''
Quintay	33°11'33''	71°42'15''
El Quisco	33°23'35''	71°42'11''
Las Cruces	33°30'06''	71°37'54''
Matanzas	33°57'44''	71°52'37''
Punta Lobos	34°25'38''	72°02'58''

**Tabla 2.** Promedios estacionales de temperatura superficial del mar en la costa. Entre paréntesis se indica el año en que se registro el valor.

Sitio	Primavera		Verano		Otoño		Invierno	
	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
Arrayán	14,46 (2001)	14,70 (2002)	15,31 (2000)	16,50 (2003)	13,73 (2000)	14,44 (2002)	13,08 (2000)	13,39 (2001)
Los Molles	13,25 (2001)	14,12 (2001)	14,75 (2003)	16,17 (2002)	13,28 (2000)	13,85 (2002)	12,43 (2002)	13,30 (2001)
Pta. Curaumilla	12,11 (2002)	12,85 (2001)	12,50 (2003)	14,18 (2002)	12,83 (2002)	13,17 (2001)	11,54 (2002)	12,55 (2000)
Las Cruces	12,96 (2000)	13,87 (2201)	14,41 (2001)	15,76 (2002)	13,02 (2000)	13,67 (2001)	11,92 (2000)	13,09 (2001)
Matanzas	12,47 (2000)	12,95 (2002)	13,51 (2000)	14,28 (2002)	12,70 (2000)	13,01 (2002)	11,83 (2002)	12,45 (2001)

**Tabla 3.** Máximas correlaciones obtenidas del análisis de correlación cruzada a series de tiempo de TSMC filtradas (n=1192 días). Se incluye distancia en Km entre Arrayán y los sitios de más al sur.

	ARRAYAN LOS MOLLES CURAUMILLA LAS CRUCES MATANZAS					
	Km	0	284	381	424	477
ARRAYAN	0	1,0000	0,4239	0,3554	0,3552	0,3133
LOS MOLLES	284	0,4239	1,0000	0,6631	0,6242	0,6660
CURAUMILLA	381	0,3554	0,6631	1,0000	0,7439	0,7313
LAS CRUCES	424	0,3552	0,6242	0,7439	1,0000	0,7286
MATANZAS	477	0,3133	0,6660	0,7313	0,7286	1,0000

**Tabla 4.** Máximas correlaciones obtenidas del análisis de correlación cruzada a series de tiempo de TSMC no filtradas (n=1192 días). Se incluye distancia en kilómetros entre Arrayán y los sitios que se localizan más al sur.

	ARRAYAN LOS MOLLES CURAUMILLA LAS CRUCES MATANZAS					
	Km	0	284	381	424	477
ARRAYAN	0	1,0000	0,7028	0,4513	0,6891	0,6294
LOS MOLLES	284	0,7028	1,0000	0,6812	0,7729	0,7901
CURAUMILLA	381	0,4513	0,6812	1,0000	0,7316	0,7294
LAS CRUCES	424	0,6891	0,7729	0,7316	1,0000	0,8237
MATANZAS	477	0,6294	0,7901	0,7294	0,8237	1,0000

**Tabla 5.** Porcentajes de la varianza que explica cada señal (anual, estacional y sinóptica) con respecto de la serie original de temperatura superficial del mar en la costa.

Tipo de señal	Arrayán	Los Molles	Pta. Curaumilla	Las Cruces	Matanzas
Señal Anual y estacional	68,67%	37,51%	18,47%	40,17%	34,98%
Sin señal anual y estacionalidad	25,98%	60,57%	75,62%	58,26%	63,08%
Señal sinóptica	10,19%	11,61%	14,91%	7,07%	16,54%



**Tabla 6.** Estadística básica de vientos satelitales cercanos al puerto de Coquimbo durante los años 2000 y 2003.

Velocidad (m/s)	Direcciones								SUMA
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0.20 - 1.10	3	4	3	5	2	4	4	3	28
1.20 - 2.10	7	2	8	15	27	7	4	2	72
2.20 - 3.10	9	2	7	23	39	6	3	4	93
3.20 - 4.10	11	5	2	23	64	0	1	0	106
4.20 - 5.10	6	3	3	14	93	3	0	2	124
5.20 - 6.10	5	2	2	9	110	0	0	0	128
6.20 - 7.10	5	2	2	5	117	0	0	1	132
7.20 - 8.10	3	0	0	0	120	0	0	0	123
8.20 - 9.10	3	0	0	0	103	0	0	0	106
9.20 - 10.10	4	0	0	0	76	0	0	0	80
10.20 - 11.10	0	0	0	0	81	0	0	0	81
11.20 - 12.10	1	1	0	0	54	0	0	0	56
12.20 - 13.10	1	0	0	0	32	0	0	0	33
13.20 - 14.10	0	1	0	0	21	0	0	0	22
14.20 - 15.10	0	0	0	0	8	0	0	0	8
15.20 - 16.10	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Total</b>	58	22	27	94	948	20	12	12	1193
<b>% Casos</b>	4.86	1.84	2.26	7.88	79.46	1.68	1.01	1.01	100.00

<b>Máximo (m/s)</b>	13.09	13.31	7.08	7.10	15.77	4.68	3.55	7.17
<b>Media (m/s)</b>	4.86	4.34	2.95	3.45	7.51	2.25	1.73	2.71
<b>Desv. est. (m/s)</b>	2.82	3.32	1.77	1.54	2.99	1.20	0.91	1.97

**Tabla 7.** Estadística básica de vientos satelitales cercanos al puerto de Valparaíso durante los años 2000 y 2003.

Velocidad (m/s)	Direcciones								SUMA
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0.10 - 1.00	5	2	5	4	3	3	3	4	29
1.10 - 2.00	7	7	6	21	10	3	1	5	60
2.10 - 3.00	10	7	11	26	33	3	0	8	98
3.10 - 4.00	12	10	3	39	40	1	4	4	113
4.10 - 5.00	11	8	6	28	46	3	0	4	106
5.10 - 6.00	13	3	2	19	68	1	0	1	107
6.10 - 7.00	16	1	3	13	87	2	0	4	126
7.10 - 8.00	6	1	1	7	108	0	0	0	123
8.10 - 9.00	3	6	0	3	87	0	0	0	99
9.10 - 10.00	6	4	0	0	111	0	0	0	121
10.10 - 11.00	2	0	1	0	85	0	0	0	88
11.10 - 12.00	5	1	0	0	55	0	0	0	61
12.10 - 13.00	6	1	0	0	28	0	0	0	35
13.10 - 14.00	3	0	0	0	15	0	0	0	18
14.10 - 15.00	0	0	0	0	6	0	0	0	6
15.10 - 16.00	1	0	0	0	2	0	0	0	3
<b>Total</b>	106	51	38	160	784	16	8	30	1193
<b>% Casos</b>	8.89	4.27	3.19	13.41	65.72	1.34	0.67	2.51	100.00

<b>Máximo (m/s)</b>	15.64	13.01	10.88	8.73	15.18	6.59	3.63	7.00
<b>Media (m/s)</b>	6.14	4.93	3.41	4.02	7.97	3.23	2.06	3.19
<b>Desv. est. (m/s)</b>	3.57	2.99	2.25	1.82	2.85	2.03	1.47	1.91

**Tabla 8.** Estadística básica de vientos satelitales cercanos al puerto de San Antonio durante los años 2000 y 2003.

Velocidad (m/s)	Direcciones								SUMA
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0.10 - 1.00	3	3	5	3	0	3	3	2	22
1.10 - 2.00	6	3	10	18	16	4	4	7	68
2.10 - 3.00	16	3	15	32	20	3	5	3	97
3.10 - 4.00	9	11	7	45	33	0	0	6	111
4.10 - 5.00	9	8	4	29	46	1	0	5	102
5.10 - 6.00	13	6	3	26	52	3	0	2	105
6.10 - 7.00	10	3	2	20	81	1	0	3	120
7.10 - 8.00	8	5	1	9	99	0	0	1	123
8.10 - 9.00	7	5	3	6	107	0	0	1	129
9.10 - 10.00	3	6	0	3	96	0	0	0	108
10.10 - 11.00	5	1	0	0	90	0	0	2	98
11.10 - 12.00	4	1	0	0	54	0	0	0	59
12.10 - 13.00	7	1	0	0	19	0	0	0	27
13.10 - 14.00	3	0	1	0	15	0	0	0	19
14.10 - 15.00	1	0	0	0	3	0	0	0	4
15.10 - 16.00	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Total</b>	104	56	51	191	732	15	12	32	1193
<b>% Casos</b>	8.72	4.69	4.27	16.01	61.36	1.26	1.01	2.68	100.00

<b>Máximo (m/s)</b>	15.05	12.78	13.18	9.99	15.38	6.93	2.83	10.89
<b>Media (m/s)</b>	6.32	5.62	3.51	4.39	8.07	2.75	1.67	4.19
<b>Desv. est. (m/s)</b>	3.59	2.96	2.53	1.97	2.74	2.14	0.93	2.65

**Tabla 9.** Porcentajes de la varianza que explica cada señal (anual, estacional y sinóptica) con respecto de la serie original de viento satelital.

Tipo de Señal	Coquimbo	Valparaíso	San Antonio
Señal Anual y estacional	1,70%	7,50%	9,30%
Sin señal anual y estacionalidad	97,50%	93,10%	91,80%
Señal sinóptica	46,03%	43,47%	43,93%

**Tabla 10.** Estadística de la información de nivel del mar diario ajustado por presión atmosférica. Se presenta el promedio, la desviación estándar, el valor mínimo, el valor máximo y el rango de cada estación.

Estación	Latitud [S]	Longitud [W]	Promedio (cm)	Desviación Estandar	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Rango (cm)
Coquimbo	29°56'00"	071°21'00"	1,39	5,53	-14,02	18,37	32,40
Valparaíso	33°02'00"	071°38'00"	0,64	5,62	-14,63	20,04	34,67
San Antonio	33°35'00"	071°38'00"	0,68	6,92	-16,49	22,97	39,45

**Tabla 11.** Distancia en kilómetros entre sitios estudiados.

SITIOS	TEMBLADOR	ARRAYAN	PTA. TALCA	LOS MOLLES	MONTEMAR	CURAUMILLA	QUINTAY	ECIM	MATANZAS
TEMBLADOR	0	21	162	305	384	402	411	445	498
ARRAYAN	21	0	142	284	363	381	391	424	477
PTA. TALCA	162	142	0	147	226	242	252	286	338
LOS MOLLES	305	284	147	0	79	98	107	140	194
MONTEMAR	384	363	226	79	0	23	30	61	116
CURAUMILLA	402	381	242	98	23	0	10	45	97
QUINTAY	411	391	252	107	30	10	0	35	87
LAS CRUCES	445	424	286	140	61	45	35	0	56
MATANZAS	498	477	338	194	116	97	87	56	0