M. A. Serrano

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
SECRETARIA
DE
ESTUDIOS
FACULTAD DE CIENCIAS

09-marzo/98.-

08 JUN 1998

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ciencias
ESTA MEMORIA FUE APROBADA CON
NOTA 5,8 (cinco, ocho)
Valparaíso, 16 Junio /98.-

Marc 12908

M
C146d
1998
c.2

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE METEOROLOGÍA

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
9144
BIBLIOTECA
c.3
FACULTAD DE CS. DEL MAR Y DE RECURSOS NATURALES

DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS DE SURGENCIA EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO DURANTE EL PASAJE DE DEPRESIONES COSTERAS (33°S)

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADO EN METEOROLOGÍA

JANETTE EVELINNE CALDERÓN SUENZEN

PROFESOR GUÍA: SR. JOSÉ RUTLLANT COSTA

1998

... a Dios Padre que ilumina mi camino
a mis padres por su amor, apoyo y confianza
a mis hermanos por su fortaleza y buenos deseos
a mi familia por compartir mi alegría

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Sr. José Rutllant Costa, Profesor Asociado del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile por sus valiosos consejos y manifiesta preocupación durante todo el desarrollo de la tesis, como también al Sr. Sergio Vega Martín y al Sr. Hellmuth Sievers, Oceanográfos de la Universidad de Valparaíso por sus oportunas recomendaciones.

Además, agradezco al Capitán de Fragata Sr. Alvaro Sampedro del Servicio Meteorológico de la Armada de Chile por la ayuda proporcionada en la adquisición de datos de la estación meteorológica de Punta Angeles.

A los Oceanográfos, Sr. Sergio Salinas y Samuel Hormazabal de la Universidad Católica de Valparaíso, Facultad Ciencias del Mar por proporcionar los datos de vientos medidos en Punta Curaumilla.

Finalmente agradezco al Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso por la oportunidad de haber participado en el Proyecto DIUV 03/96 de la Dirección de Investigación de esa Universidad que permitió el desarrollo de la presente tesis.

RESUMEN

En el sector comprendido entre punta Curaumilla por el sur, y Quintero por el norte, con centro en la bahía de Valparaíso, se realizó un estudio de la relación entre la depresión barométrica costera y los procesos de surgencia.

El período de mediciones oceanográficas se inició el 19 de noviembre y finalizó el 9 de diciembre de 1996. Las mediciones se realizaron día por medio, en seis estaciones fijas ubicadas dentro de la bahía. Las variables medidas en el estudio fueron: presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura, salinidad y densidad superficial del mar durante el proceso de surgencia costera.

Las series de tiempo de viento registrados en punta Curaumilla y punta Angeles, presentan una marcada predominancia de los vientos del sur con una intensidad máxima de 20 (m/s) a las 18 horas local.

De un análisis compuesto de los eventos de surgencia ocurridos en el periodo de estudio, el máximo viento sur ocurre alrededor de 12 horas antes de la culminación de la depresión costera, intensificándose los vientos al sur de la depresión.

La respuesta física del océano dentro de la bahía indujo una elevación hasta la superficie, de la isoterma de 13 ° C durante los dos primeros días comenzado el evento de surgencia Nº 1 y un aumento en la concentración de la salinidad, alcanzando ésta a valores de 34.5 PSU.

En general la fase de intensificación de los eventos de surgencia en la zona costera de Valparaíso se presentan asociados a la disminución brusca de presión y a un aumento de la máxima componente sur del viento que preceden a la culminación de la depresión costera durante los días de estudio.

INDICE

	Nº Pag.
INTRODUCCION	1
I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.Formulación del problema	3
1.2. Objetivos	6
1.2.1. General	6
1.2.2. Específicos	7
1.3.Revisión bibliográfica	7
1.3.1. Antecedentes climáticos de la zona de estudio	7
1.3.1.1 Ciclo Anual del Anticiclón Subtropical del Pacífico Suroriental	9
1.3.1.2 Variabilidad interanual	10
1.3.2. Antecedentes oceanográficos de la zona de estudio	11
1.3.3. Bajas costeras	13
1.3.3.1 Características asociadas al paso de depresiones costeras en la zona central de Chile: Inversión de subsidencia, viento y nubosidad	14
1.3.4 Surgencia costera	17
1.3.4.1 Características de las zonas de surgencia en Chile central	20
1.4. Hipótesis de trabajo	21

Nº Pag.

II **MATERIALES Y MÉTODOS** 22

2.1. Adquisición de datos 22

2.1.1 Información meteorológica 22

2.1.2 Información oceanográfica 24

2.1.3. Información satelital 25

2.2. Procedimiento empleado 26

2.2.1. Análisis de series de tiempo 26

III **ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN** 28

3.1. Análisis de las series de tiempo 28

3.2. Descripción de los eventos de baja costera 36

3.3. Análisis compuesto 50

IV CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS 56

V DISCUSIÓN 58

VI BIBLIOGRAFÍA 61

INTRODUCCIÓN

Las áreas costeras del norte y centro de Chile están influenciadas a través de todo el año por procesos de surgencia típicos de los bordes orientales de los océanos y se caracterizan por el ascenso de las aguas ecuatoriales subsuperficiales frías de alta salinidad, ricas en nutrientes y de bajo contenido en oxígeno.

Los mayores eventos de surgencia en cuanto a extensión e intensidad se presentan durante los meses de primavera - verano, producto de la acción sostenida de los vientos predominantes del Sur - Suroeste (Silva, 1973 ; Sievers y Silva , 1973, 1979 ; Fonseca et al., 1988), principalmente como consecuencia del gradiente bárico entre el borde oriental del anticiclón subtropical semi permanente del Pacífico Sur y la vaguada continental.

Asimismo, períodos de intensificación - relajación de la surgencia están relacionados con períodos de reforzamiento de los vientos del SW seguidos de calmas o cambios de sentido en los vientos en relación con el paso de depresiones costeras que se propagan desde el norte con una periodicidad de ocurrencia cercana a una por semana (Rutllant, 1993, 1994).

El presente estudio para la bahía de Valparaíso (33° S, 70° W) pretende conocer los efectos oceanográficos de los cambios en cuanto a

intensidad y dirección de los vientos paralelos a la costa que generan procesos de surgencia - relajación en punta Curaumilla, al sur de la bahía.

La importancia de este trabajo radica en la pesca artesanal que se desarrolla al interior de la bahía, por lo cual se han realizado diversos estudios bio-oceanográficos.

Con el fin de relacionar los procesos de surgencia generados en Punta Curaumilla con el paso de depresiones costeras por la zona de Valparaíso, se obtuvieron registros de las variables meteorológicas y oceanográficas durante un período de 20 días (del 19 de noviembre al 9 de diciembre de 1996) en el marco del Proyecto DIUV 03/96 de la Dirección de Investigación de la Universidad de Valparaíso.

De la estación meteorológica ubicada en el Faro Punta Angeles se obtuvieron las variables de presión atmosférica y viento (dirección e intensidad). Asimismo, se utilizaron los registros de vientos en Punta Curaumilla durante un período de 15 días (del 22 de noviembre al 6 de diciembre de 1996), medidos por la Universidad Católica de Valparaíso. Además, se utilizaron dentro de la bahía seis estaciones oceanográficas fijas, en las cuales se midieron las variables de salinidad, temperatura del mar y nutrientes.

Por otra parte, se obtuvo imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) y cartas sinópticas de superficie.

I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

El litoral chileno presenta zonas de alta productividad pesquera. La abundante pesca pelágica se encuentra asociada a procesos de surgencia que tienen su origen en los bordes orientales de los océanos (Fig.1) asociados a los centros de alta presión de latitudes subtropicales.

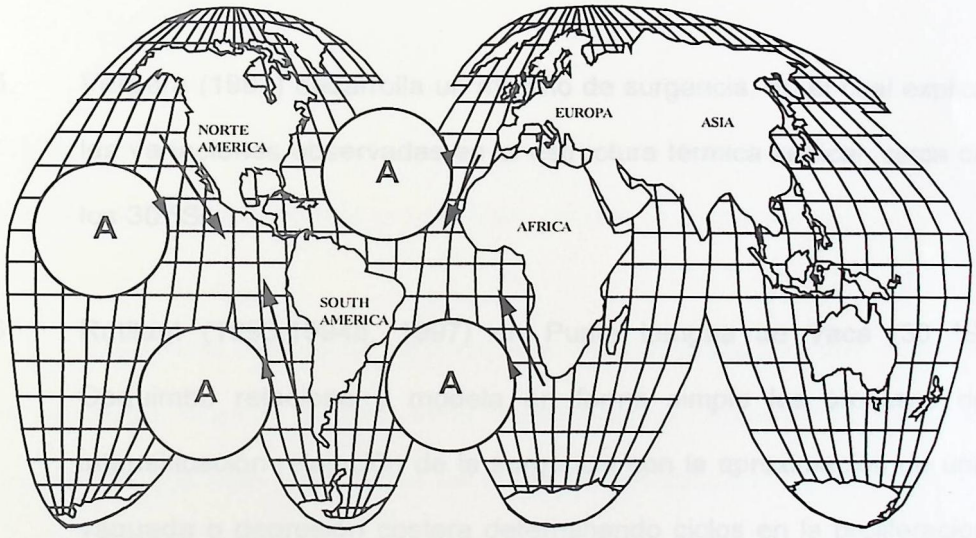


Fig.1 Localización de los cuatro centros más importantes de surgencia y sistemas de alta presión asociados (Nicholls,1987).

El desarrollo económico del país está ligado en gran parte a la actividad pesquera, por lo cual es fundamental conocer la variabilidad en la frecuencia e intensidad de los procesos de surgencia. Al respecto se han realizado diversos estudios entre los cuales se destacan:

1. Sievers y Silva (1979) estudian la variabilidad de las condiciones oceanográficas frente a punta Curaumilla.

2. Fonseca y Farías (1987) analizan el proceso de surgencia en la costa de Chile utilizando percepción remota.

3. Fonseca et al., (1988) analizan los eventos de surgencia en la zona de Valparaíso y sus efectos en el ecosistema marino.

4. Rutllant et al., (1988) estudian el comportamiento de la capa atmosférica marina y su relación con un evento de surgencia en los 29,5 ° S.

5. Vergara (1992) desarrolla un modelo de surgencia, en el cual explica las variaciones observadas en la estructura térmica vertical, cerca de los 30 °S.

6. Rutllant (1993,1994b, 1997) en Punta Lengua de Vaca (30 °S) Coquimbo relaciona y modela en forma simple los procesos de intensificación-relajación de la surgencia con la aproximación de una vaguada o depresión costera determinando ciclos en la proliferación del plancton y en el clima costero de las zonas aledañas.

7. Barbieri et al., (1995) identifican zonas de surgencia mediante el uso de imágenes satelitales, demostrando su utilidad en el análisis de la estructura térmica superficial del mar.

8. Strub et al., (1996) resumen los aspectos más relevantes del forzamiento de la circulación oceánica a lo largo de la costa occidental de América del Sur.

En el centro-norte de Chile los procesos de surgencia se presentan durante todo el año, a pesar de que los eventos más intensos ocurren durante los meses de primavera y verano, debido a la mayor frecuencia e intensidad de los vientos del SW (Silva, 1973; Fonseca y Farías, 1987; Avaria et al., 1989). Estos autores concluyen que la surgencia ocurre en forma temporal y aperiódica debido principalmente a la duración e intensidad de los vientos favorables a la surgencia.

Rutllant et al., (1992), determinaron que en Punta Lengua de Vaca los eventos de viento intermitente ocurren en conección con una débil condición postfrontal y la subsecuente propagación de una baja costera.

En la zona costera de Valparaíso se han realizado diversos estudios, sin embargo, ninguno de ellos tiene relación con la depresión costera y de los efectos que ésta produce en los ciclos de intensificación y relajación de la surgencia, siendo el principal objetivo del presente trabajo.

Los límites de la zona de estudio (Fig. 2) está comprendida entre punta Concón (32° 54' S; 71° 30' W) y Punta Curaumilla (33° 06' S; 71° 44' W).

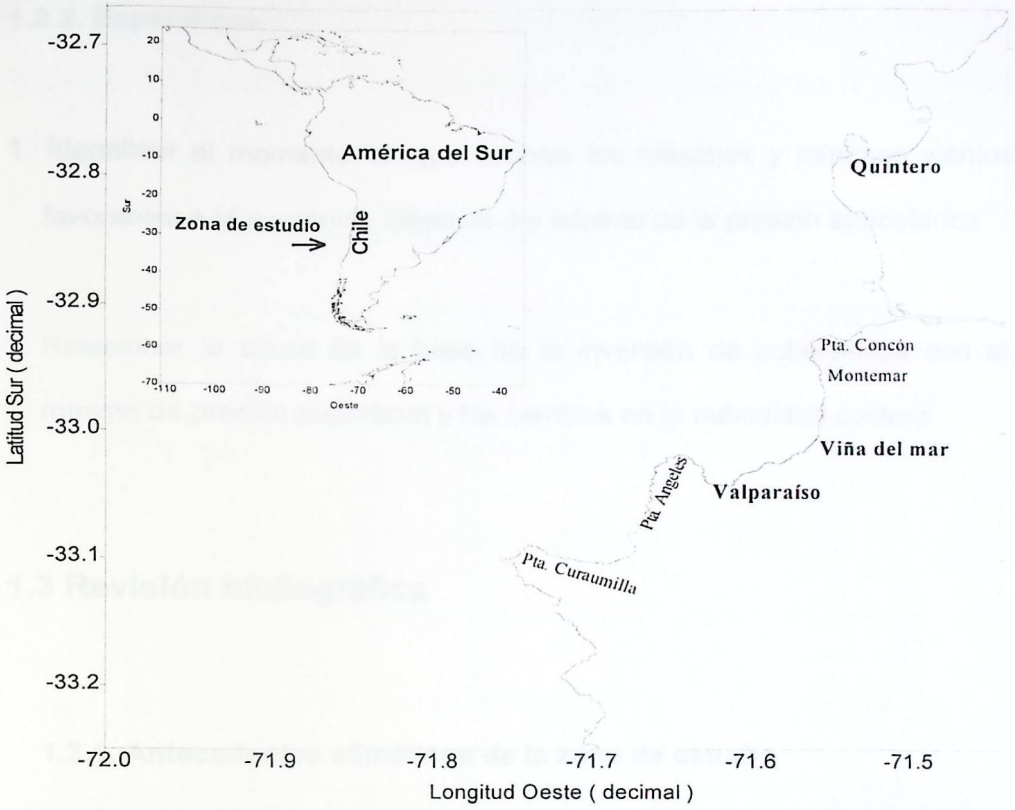


Fig 2. Ubicación de la zona de estudio (32° 46' S; 70° 32' W -33° 06' S; 70° 44' W).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Relacionar el paso de depresiones costeras a lo largo de la costa de Valparaíso con los ciclos de reforzamiento y relajación de los vientos registrados en Punta Angeles y su relación con los procesos de surgencia generados desde Punta Curaumilla, durante el período de estudio.

1.2.2. Específicos

1. Identificar el momento en que ocurren los máximos y mínimos vientos favorables a la surgencia respecto del mínimo de la presión atmosférica.

2. Relacionar la altura de la base de la inversión de subsidencia con el mínimo de presión superficial y los cambios en la nubosidad costera.

1.3 Revisión bibliográfica

1.3.1. Antecedentes climáticos de la zona de estudio

La zona de Valparaíso se caracteriza por presentar un clima templado cálido con lluvias invernales, estación seca prolongada (8 a 7 meses) y alta nubosidad. El clima que se extiende por el litoral desde Zapallar hasta aproximadamente los 35 ºS se diferencia del clima del interior de acuerdo a las características propias que la cercanía del mar determina. Por otra parte, la nubosidad típica asociada al borde costero del anticiclón subtropical son los estratocúmulos, los cuales muestran una oscilación diaria, en particular en los meses de verano cuando la cobertura de cielo de origen frontal es menos frecuente (Fuenzalida, 1971).

En cuanto a las variaciones del viento, la zona costera de Valparaíso presenta un marcado ciclo diario, mostrando un mínimo de intensidad en la mañana a las 9 horas local (12 UTC) con dirección norte y un máximo en la

tarde a las 15 horas local (18 UTC) con dirección S-SW (Tabla 1), aumentando la intensidad en los últimos años y disminuyendo las calmas matinales.

Tabla 1. Máxima intensidad (m/s) y dirección del viento registrados en la estación del Faro Punta Angeles (1990-1996).

AÑOS	HORA LOCAL	INT. PROM. (m/s)	INT. MAX. (m/s)	DIR MAX (grado)
1990	9	1,2	8,7	360
	15	5,6	20,6	210
	21	3,9	15,4	250
1991	9	2,5	20,6	150
	15	6,3	18,0	220
	21	4,5	14,4	220
1992	9	2,7	15,4	350
	15	6,7	17,5	210
	21	5,1	19,0	200
1993	9	2,3	14,4	340
	15	6,9	20,6	190
	21	5,1	17,5	200
1994	9	2,8	14,4	210
	15	7,8	23,1	220
	21	5,8	22,1	210
1995	9	3,3	18,0	10
	15	8,7	24,7	240
	21	6,3	20,0	240
1996	9	2,9	12,9	360
	15	7,6	21,6	240
	21	6,2	33,9	230

Por otra parte, las variaciones en la temperatura media del aire durante todo el año es de alrededor de los 14,1 °C con una máxima de 17,3 °C a las 15 horas local (18 UTC) y una mínima de 11,5 °C a las 9 horas local (12 UTC) (Tabla.2).

Tabla.2 Promedio de las temperaturas medias, máximas y mínimas del aire (°C), registrado en Valparaíso (1990 -1995)

TEMP.AIRE(°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
TEMP.MEDIA	17,0	16,5	16,1	14,9	13,3	12,6	11,1	11,3	12,6	13,3	14,6	16,0	14,1
TEMP. MÁX.	20,5	20,1	19,6	18,2	16,3	15,5	14,1	14,4	15,6	16,3	17,8	19,6	17,3
TEMP. MÍN.	14,1	13,3	13,4	12,2	10,7	10,4	8,7	9,0	10,3	10,9	11,9	13,3	11,5

Además la máxima radiación solar incidente se produce durante los meses de primavera y verano, con un máximo en diciembre de 557 Cal/ cm^2 y un mínimo de 304 Cal/ cm^2 en septiembre (Tabla.3), aumentando en mayor grado la nubosidad en este último período.

Tabla.3 Promedio mensual de radiación solar registrado en la bahía de Valparaíso (1985-1995)

RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE (CAL/CM^2)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROM.	507	431	335	250	168	137	156	216	304	403	477	557

1.3.1.1 Ciclo anual del Anticiclón Subtropical del Pacífico Suroriental

El ciclo anual del anticiclón subtropical condiciona en parte la variación estacional de los eventos de vientos favorables a la surgencia, así como el forzamiento térmico debido al contraste de temperaturas superficiales entre la tierra y el mar.

La inversión asociada al borde oriental del anticiclón entre la superficie y la capa limite marina presenta una pendiente hacia la costa (de oeste a este) generando gradientes en el esfuerzo superficial del viento y en la nubosidad. Asimismo los vientos a lo largo de la costa son también modificados por efectos locales, tal como la baroclinicidad creada por los gradientes horizontales de temperatura a través de los frentes de surgencia, la línea costera y la pendiente andina (Strub et al. , 1996).

La influencia que ejerce el borde oriental del anticiclón subtropical y la baja continental genera un movimiento hacia el Ecuador en los vientos a lo largo de la costa resultando en la costa vientos máximos durante el período de primavera - verano entre los 25° - 35° S (Montecinos, 1991; Fuenzalida, 1992; Carvajal, 1994; Pizarro *et* al. , 1994).

1.3.1.2. Variabilidad interanual

La variabilidad interanual del Pacífico Sur Oriental está reflejada principalmente a través del ciclo El Niño-Oscilación del Sur. Perturbaciones de los vientos en el Pacífico ecuatorial central se propagan hacia el este como ondas ecuatoriales de Kelvin que luego se propagan hacia los polos a lo largo de las costas de América como ondas atrapadas a la costa y luego como ondas de Rossby hacia el oeste. Las ondas ecuatoriales de Kelvin en el océano son más frecuentes durante el período de verano y durante la fase de inicio de los eventos del El Niño (Kessler y McPhaden, 1995).

Las ondas de Kelvin hacia el este a lo largo del ecuador sobre un período de 50 días fueron forzadas durante la primavera y verano de 1991-92 (El Niño) por eventos de vientos del oeste de un período similar (Kessler y Mcphaden, 1995), con una velocidad, de fase de 10 m/s. Este forzamiento atmosférico de las ondas oceánicas corresponde a las ondas de Madden y Julian (Madden y Julian, 1971, 1972).

Entre las condiciones que se desarrollan a lo largo del Ecuador, Perú y norte de Chile durante un evento de El Niño, se destacan:

1. Un reforzamiento del flujo hacia el polo a lo largo de la costa de Perú (Smith, 1983; Huyer *et al.*, 1991)

2. La profundización de la termoclina, reduciendo eventualmente la diferencia de temperatura entre tierra-mar causada por los procesos de surgencia en zonas donde no es importante el efecto de la nubosidad (Enfield, 1981).

3. Un desplazamiento hacia el sur en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical, trayendo abundante precipitación en zonas normalmente áridas y desviando la posición de los vientos favorables a la surgencia (Huyer *et al.*, 1987, 1991).

4. Debilitamiento del Anticiclón Subtropical y de su influencia sobre los vientos costeros.

El incremento de precipitaciones en invierno en Chile central durante el desarrollo de la fase negativa de la Oscilación del Sur (El Niño) obedece a la combinación del efecto del descenso de la presión en el Pacífico sureste y de bloqueos atmosféricos y estados cuasi-estacionarios en la circulación atmosférica en el extremo sur del Pacífico sureste, que se hacen más frecuente durante esta fase (Rutllant y Fuenzalida, 1988,1991).

1.3.2 Antecedentes Oceanográficos de la zona de estudio

Las aguas superficiales de la bahía de Valparaíso corresponden a una zona de transición entre las de origen subantártico y las subtropicales. Las aguas subantárticas son aguas templadas de baja salinidad, bien oxigenadas y pobres en sales nutrientes. Bajo éstas, las aguas son de características ecuatoriales subsuperficiales de alta salinidad, bajo contenido de oxígeno y ricas en nutrientes (Brandhorst, 1963, 1971; Silva, 1973; Sievers y Silva, 1973, 1979 y Fonseca *et al.*, 1988).

Por otra parte, la circulación del agua de la bahía de Valparaíso es del tipo rotatorio, forzada principalmente por viento que sopla fuera de la costa y en menor grado por la marea semi diurna (Hickman,1976; Fonseca y Hickman, 1979).

Punta Curaumilla, ubicada al sur de la bahía de Valparaíso, ha sido considerada como uno de los principales focos de surgencia de la zona (Brandhorst,1963; Silva, 1973; Sievers y Silva, 1979; y Fonseca et al., 1988). Estudios realizados en punta Curaumilla, indican que los procesos de surgencia costera presentan una duración del orden de una semana (Fonseca y Farías, 1987). Estos procesos favorecen la proliferación de fitoplacton, como las diatomeas, debido al bombeo de nutrientes aportados desde las aguas ecuatoriales subsuperficiales (Avaria *et al.* , 1989).

La Tabla 4, muestra valores medios anuales de temperatura, salinidad y oxígeno durante el período primavera-verano en las aguas superficiales frente a la bahía de Valparaíso.

Tabla 4. Valores medios mensuales durante los meses de primavera y verano, registrado por cruceros oceanográficos frente a la bahía de Valparaíso (1965-1993).

VARIABLES OCEANOGRÁFICAS	SUPERFICIE 0 (m)	PROFUNDIDAD 10 (m)
Temperatura (° C)	13,60	13,16
Salinidad ($^{0}/_{00}$)	33,83	34,27
Oxígeno (ml/l)	4,97	4,43

1.3.3. Bajas costeras

Bases de la teoría

Las bajas costeras se describen como ondas Kelvin que se propagan desde el Ecuador de norte a sur a lo largo de la costa, generadas por la interacción de sistemas sinópticos de latitudes medias con la topografía (Gill, 1977). Como resultado de la interacción se generan ondas gravitatorias internas en la interfaz con la inversión de subsidencia, quedando confinadas a la costa como consecuencia del efecto de Coriolis.

La oscilación de la capa de inversión cambia el espesor de la capa de mezcla marina, generando cambios en la nubosidad costera. (Gill, 1977; Reason y Jury, 1990; Rutllant, 1994b).

Por otra parte, el efecto de estas ondas se extiende mar afuera hasta un radio de deformación de Rossby, con un promedio de 180 Km para la costa norte de Chile (Rutllant, 1994b). La velocidad de propagación de las ondas, en dirección a los polos a través de la costa sudafricana es del orden de los 6 m/s y sobre los 10 m/s para la costa chilena (Gill, 1977; Rutllant y Garreaud, 1995).

1.3.3.1 Características asociadas al paso de depresiones costeras en la zona central de Chile: inversión de subsidencia, viento y nubosidad

En Chile central las bajas costeras se presentan durante todo el año entre los 27-37° S, alcanzando hasta los 41 ó 42° S durante el período de verano con una frecuencia de ocurrencia alrededor de una vez por semana (Rutllant, 1994).

La propagación hacia el sur de las bajas costeras genera cambios en la nubosidad costera, un ciclo característico del viento y de la tendencia de la presión en superficie (Rutllant, 1994). Al propagarse la baja de norte a sur, se observan los siguientes cambios:

-Primero:

En el sector delantero de la baja predominan vientos del S o SE al mismo tiempo que la presión desciende, baja la inversión térmica, el cielo se despeja, la temperatura aumenta en unos grados y la humedad específica

del sector disminuye por efecto del flujo desde la cordillera. Durante estos días la surgencia se intensifica.

-Segundo:

Pasando el centro de baja presión, el cielo se nubla con estratocúmulos, los vientos se debilitan y viran de S o SE a N o NW, interrumpiendo el proceso de surgencia costera por unos tres días.

Una de las configuraciones sinópticas más frecuente asociadas a la ocurrencia de bajas costeras es la penetración de una dorsal cálida en la troposfera media sobre Chile central. En superficie, las bajas costeras se desarrollan entre la alta subtropical del Pacífico y la alta migratoria fría que se forma como consecuencia del paso de un sistema frontal frío al este de la cordillera (Fig.3) (Rutllant, 1981). El descenso de la base de la inversión de subsidencia asociado al borde oriental del anticiclón subtropical ocurre delante de la depresiones costeras, donde la oscilación diurna de la base de la inversión puede alcanzar alturas por debajo del nivel de condensación, produciendo cielos despejados.

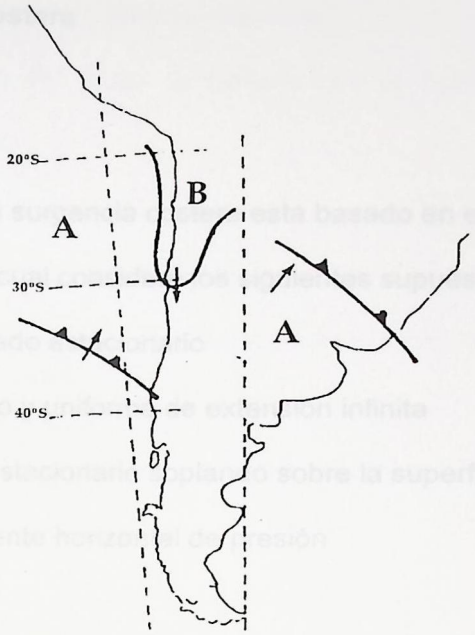


Fig.3 Esquema típico de propagación de la depresión costera después del paso de un sistema frontal en el litoral central de Chile (Rutllant et al., 1993; Rutllant, 1994).

Punta Lengua de Vaca, ubicada en los 30.2°S sobre la costa oeste de Sudamérica, es una de las áreas más activas de surgencia en la costa chilena subtropical y presenta típicamente un ciclo diario en los vientos con un mínimo de velocidad a las 9 a.m. y un máximo en la tarde (18 horas) donde puede sobrepasar los 10 m/s, cuando los vientos soplan al SW (Vergara, 1990; Rutllant,1994).

Después del ciclo diario, la mayor variabilidad en la intensidad de los vientos favorables a la surgencia ocurre en períodos del orden de seis días, en respuesta a la ocurrencia de depresiones costeras. Los eventos de viento que preceden a la ocurrencia de depresiones costeras constituyen la mayor parte de los casos con una duración de dos a tres días en invierno y primavera (Rutllant, 1993).

1.3.4 Surgencia costera

Bases de la teoría

El proceso de surgencia costera esta basado en el modelo de Ekman-Sverdrup (1905), el cual consideró los siguientes supuestos:

- movimiento en estado estacionario
- océano homogéneo y uniforme de extensión infinita
- viento uniforme y estacionario soplando sobre la superficie
- ausencia del gradiente horizontal de presión

Ekman (1905), describió el modelo mediante los siguientes pasos:

Si el viento sopla paralelo a la costa, entonces el flujo sobre la capa superficial del océano es desviado hacia la izquierda en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte debido a la fuerza de Coriolis. Producto de este movimiento se genera un transporte de agua hacia fuera de la costa. A medida que esta agua se aleja de la costa, otra más profunda surge para reemplazarla como respuesta al principio de continuidad de masa, siendo de características más fría y densa que la superficial migratoria.

Por otra parte, Vergara et al., (1988) desarrollaron un modelo numérico de surgencia costera basado en los modelos de O' Brien y Hurlburt (1972) de acuerdo a los siguientes supuestos:

- un océano rotante y estratificado en dos capas

- una costa infinita alineada meridionalmente
- ignora la variación del factor de Coriolis con la latitud y se desprecia la mezcla entre capas.

Las características observadas en áreas de surgencia para zonas costeras con o sin plataforma de acuerdo a este modelo corresponden a:

1. La presencia de un chorro costero baroclínico ubicado a unos 10 km de la costa.

2. El hundimiento de masas de agua en zonas oceánicas abiertas, asociadas al rotor del campo de vientos.

3. La zona de surgencia costera restringida a los primeros 50 km en las costas oestes de los continentes, producto del viento con componente hacia el Ecuador, en latitudes medias.

4. Descenso en el nivel medio del mar, cerca de la costa.

5. Un flujo mar adentro en la capa superior de Ekman, mientras que el flujo hacia la costa de la capa inferior cierra la circulación vertical.

La Fig.4 presenta un esquema idealizado del proceso de surgencia para el hemisferio sur, considerando primero la etapa de surgencia, donde

las aguas son transportadas hacia fuera de la costa, la estratificación y el hundimiento.

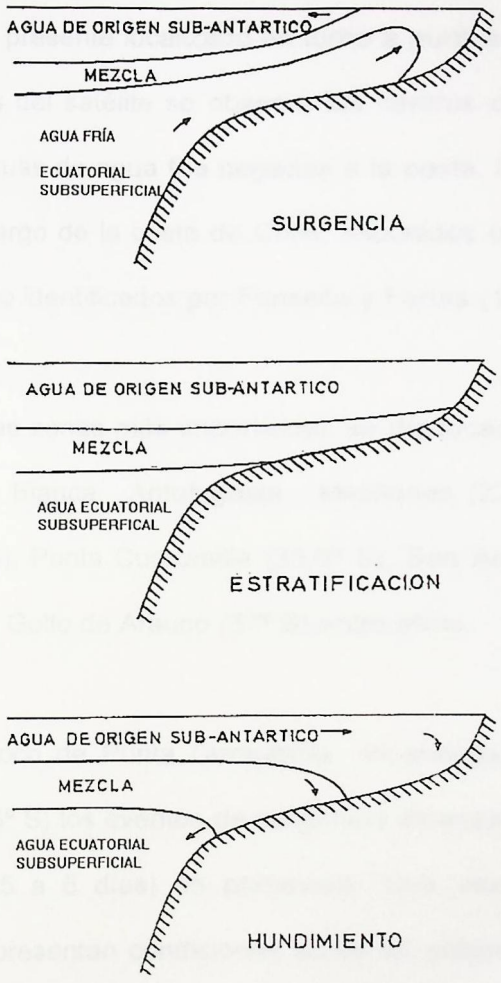


Fig.4 Esquema idealizado del desplazamiento vertical de las masas de agua durante los procesos de surgencia y hundimiento (Silva, 1973).

1.3.4.1 Características de las zonas de surgencia en Chile

En teoría la surgencia podría presentarse en todo el litoral norte y central debido a los vientos dominantes del SW. Sin embargo, es usual que el proceso se presente localizado en torno a puntas del continente. A través de imágenes del satélite se observa los centros o focos de surgencia en forma de lenguas de agua fría pegadas a la costa. Seis zonas de surgencia costera a lo largo de la costa de Chile, asociados con zonas de abundante pesca han sido identificados por Fonseca y Farías (1987).

Entre las zonas más importantes se destacan el foco al sur de Arica (18° S) Punta Blanca, Antofagasta - Mejillones (23° S), Punta Lengua de Vaca (30.2° S), Punta Curaumilla (33.6° S), San Antonio (33.9° S) y Punta Lavapié, en el Golfo de Arauco (37° S) entre otros.

En el foco de Punta Curaumilla localizada al sur de la bahía de Valparaíso (33° S) los eventos de surgencia alcanzan su máxima frecuencia y duración (5 a 6 días) en primavera. Una vez iniciado el evento de surgencia se presentan condiciones libres de nubosidad y al tercer día del evento la nubosidad estratiforme se hace presente consistente con lo observado en Punta Lengua de Vaca (Rutllant, 1993; Fonseca y Farías, 1987).

El foco activo de surgencia de Punta Lavapié, localizada al sur de Concepción, se presenta solo en primavera – verano en respuesta a vientos

más persistentes e intensos desde el sur. En esta zona están presentes remolinos de carácter ciclónico y anticiclónicos generados a partir del flujo horizontal de aguas frías que comienza en Lavapié y que se proyecta hacia el norte por efecto de los vientos, con frentes de surgencia muy pronunciados (Cáceres y Arcos,1991).

1.4. Hipótesis de trabajo

La hipótesis de trabajo principal supone que durante la aproximación de una depresión costera a las costas de Valparaíso se produce en una primera etapa una intensificación de los eventos de vientos favorables a la surgencia asociados a la intensificación de la componente sur del viento. En una segunda etapa se produce un relajamiento de la surgencia asociado con periodos de calmas y nubosidad costera.

En general, se puede decir que períodos de intensificación y relajamiento de los eventos de viento favorable a la surgencia generada desde Punta Curaumilla están relacionados con la aproximación de una depresión costera desde el norte del área de estudio con una duración de 2 a 3 días.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Adquisición de datos

2.1.1. Información meteorológica

- **Fuentes**

Se recopiló información de viento, presión atmosférica y nubosidad durante el período de estudio (19 de noviembre al 09 de diciembre de 1996) proveniente de la estación meteorológica del Faro Punta Angeles (33° 01' S, 71° 08' W) (Fig.5) ubicada a 60 msnm. La información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Se utilizaron además los registros de viento medidos en Punta Curaumilla (33° 06' S) ubicado a 84 msnm al sur de la bahía de Valparaíso durante un periodo de 15 días (del 22 de noviembre al 6 de diciembre de 1996) procedentes de la Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ciencias del Mar.

Las cartas sinópticas de superficie y los datos de altura de la base de la inversión térmica, se obtuvieron del radiosonda de Quintero y fueron proporcionadas por la Dirección Meteorológica de Chile.

- **Instrumental**

De la estación meteorológica del Faro Punta Angeles se utilizó el anemómetro R.M. Young 05103 de 34 mm de díametro para la medición de la velocidad y dirección del viento. El anemómetro está instalado sobre la copa del faro a 18 m de la superficie y a 60 m del nivel del mar.

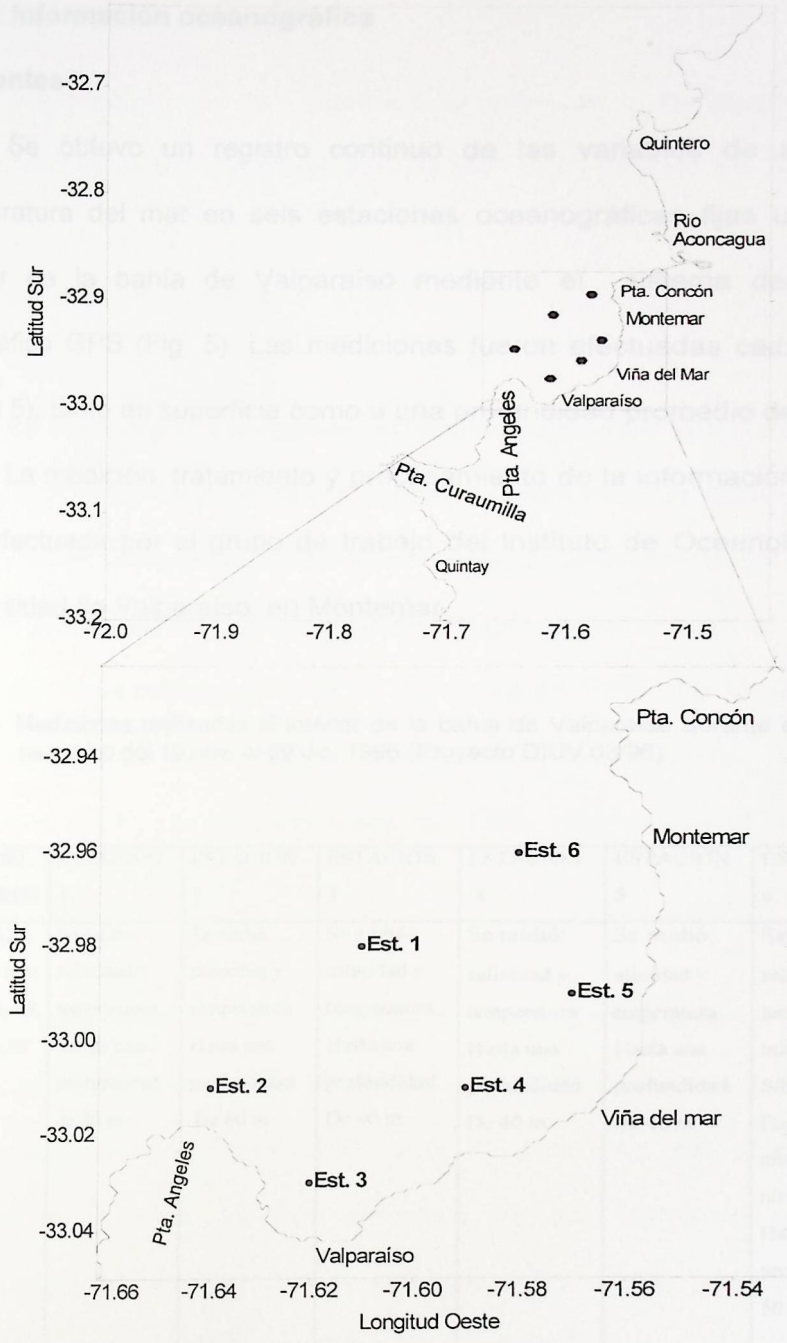


Fig. 5 Ubicación de las seis estaciones oceanográficas fijas en el interior de la bahía de Valparaíso (DIUV 03/96).

2.1.2. Información oceanográfica

- **Fuentes**

Se obtuvo un registro continuo de las variables de salinidad y temperatura del mar en seis estaciones oceanográficas fijas ubicadas al interior de la bahía de Valparaíso mediante el sistema de ubicación geográfica GPS (Fig. 5). Las mediciones fueron efectuadas cada dos días (Tabla 5), tanto en superficie como a una profundidad promedio de 40 m.

La medición, tratamiento y procesamiento de la información de datos, fue efectuada por el grupo de trabajo del Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso, en Montemar.

Tabla.5 Mediciones realizadas al interior de la bahía de Valparaíso durante el periodo de muestreo del 19 nov. al 09 dic, 1996 (Proyecto DIUV 03/96).

DIAS DEL MUESTREO	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	ESTACION 4	ESTACION 5	ESTACION 6
19,21,23,25, 27,29 de nov. Y 01, 04, 06, 09 de dic,96	Se midió: salinidad y temperatura Hasta una profundidad de 80 m	Se midió: salinidad y temperatura Hasta una profundidad De 80 m	Se midió: salinidad y temperatura Hasta una profundidad De 40 m	Se midió: salinidad y temperatura Hasta una profundidad De 40 m	Se midió: alinidad y emperatura Hasta una profundidad De 40 m	Se midió: salinidad temperatura y nutrientes: Silicatos, Fosfatos, nitratos y nitritos Hasta una profundidad de 50 m

- **Instrumental**

La medición de las variables de salinidad y temperatura con la profundidad se obtuvo mediante un CTD SEA BIRD modelo SB 19.

2.1.3. Información satélital

Se obtuvieron 10 imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) que abarcaron un área de 79 km^2 cada una, cubriendo la zona de estudio. Las imágenes fueron elaboradas con información proveniente del radiómetro AVHRR (alta resolución) procedente del satélite NOAA durante el período de muestreo (19 de noviembre al 09 de diciembre de 1996). La adquisición y el procesamiento de las imágenes fue efectuado por el Centro de Estudios Espaciales (CEE) de la Universidad de Chile, que opera la estación de Peldehue.

El tratamiento de las imágenes se efectuó mediante el sistema de información geográfica IDRISI (Eastman, 1992), las imágenes se elaboraron con matrices de datos TSM de 256 filas y 256 columnas, con una resolución espacial de 1,1 km. La georreferencia de las imágenes se efectuó correferenciando la costa con el software denominado MUESTRE, para luego realizar un remuestreo con el software IDRISI.

2.2. Procedimiento empleado

2.2.1. Análisis de series de tiempo

- **Viento**

Mediante los datos de magnitud y dirección del viento se calcularon las componentes meridionales con (v) para los vientos registrados en Punta Curaumilla y Punta Angeles.

La relación entre las series de viento registrados entre las 12 y 24 horas en las estaciones de Punta Angeles y Punta Curaumilla, se analiza a través del cálculo del coeficiente de correlación. Este coeficiente corresponde a la covarianza entre ambas series dividida por el producto de sus desviaciones estándar.

- **Presión atmosférica**

Se utilizaron datos trihorarios de presión atmosférica a nivel medio del mar en la estación de Punta Angeles. De esta serie se identificaron los mínimos de presión atmosférica asociado al paso de depresiones costeras.

Además, se realizó un análisis compuesto para la distribución de la presión atmosférica y la componente v del viento centrado en el mínimo de la presión. Este mínimo de presión atmosférica para cada evento fue

centrado a la hora cero, cuando la presión atmosférica alcanza uno de los mínimos diarios correspondiente a la marea atmosférica semidiurna.

Además se comparó la altura de la base de la capa de inversión con el mínimo de presión superficial y los cambios en la nubosidad costera.

- **Nubosidad**

Se utilizaron ocho observaciones diarias de la nubosidad costera baja entre las 0 y las 21 horas local desde la estación de punta Angeles.

Los datos fueron registrados en octavos (octas) de acuerdo con la cantidad de cielo cubierto.

- **Salinidad y Temperatura**

Se realizaron perfiles diarios de salinidad y temperatura de cada estación, de los cuales se calculó el promedio de las seis estaciones con los datos proveniente del CTD (Densidad Temperatura Conductividad).

Se identificó los períodos fríos y cálidos asociados a eventos de intensificación y relajación de la surgencia.

III. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.1. Análisis de las series de tiempo

- **Viento**

La interrelación entre las componentes meridionales del viento registradas en Punta Curaumilla y Punta Angeles, da un coeficiente de correlación lineal característico de 0,77.

Durante el periódo de estudio del 19 de noviembre al 09 de diciembre de 1996 los vientos se presentaron en forma de pulsos. Así en la estación de Punta Angeles se puede distinguir dos períodos de intensificación y de relajamiento de los vientos favorables a la surgencia.

Períodos de Intensificación (18 y 19 de noviembre; 21 al 23 de noviembre; 28 y 29 de noviembre; 1 y 2 de diciembre; 5 al 7 de diciembre)

Estos períodos de intensificación alcanzan vientos máximos alrededor de las 18 horas local (21 UTC) con una intensidad máxima alrededor de 20 (m/s) (Fig.6b) observándose durante esos periodos una intensificación de la surgencia, un descenso de la presión atmosférica y disminución de la nubosidad estratocumuliforme (Fig.6a).

La secuencia de imágenes de temperatura superficial del mar, correspondientes a los días 19, 22 y 23 de noviembre (Fig.7a;7b;8c) permite caracterizar la evolución de las estructuras térmicas, en función del campo forzante de vientos.

Períodos de relajación (20 y 21 de noviembre; 24 al 26 de noviembre;30 y 1 de diciembre; 3 al 5 de diciembre; 8 y 9 de diciembre)

La disminución brusca de la intensidad del viento entre 20 a 5 -10 (m/s) (Fig.6b) y cambio de sentido de los mismos de sur a norte, da lugar a procesos de relajación en la surgencia durante período de dos días. En general en estos periodos la presión aumenta junto con la cobertura nubosa.

Las imágenes de satélite de este último período, correspondientes a los días 5,7 y 9 de diciembre (Fig.8d;9e;9f) se observa un calentamiento de las aguas superficiales.

- **Temperatura y Salinidad**

De la misma forma que las series de viento, los perfiles de temperatura y salinidad presentan dos estados en la columna de agua asociados a la intensificación y relajamiento de la surgencia: Fase fría y Fase cálida.

En la imagen de temperatura superficial del mar del día 19 de noviembre se observa (Fig.7a) y una elevación de la isoterma de 13 ° C y de 12 °C (fase fría) en los primeros 5 y 15 metros de profundidad

respectivamente (Fig.10a), con salinidades del orden de los 34.6 PSU. Inmediatamente después, se produce un descenso en las isotermas y una disminución en las salinidades y nutrientes durante los días 20 y 21 de noviembre (fase cálida).

Entre los días 21 y 23 de noviembre se inicia nuevamente una fase fría, caracterizándose por un ascenso de las isotermas de 12 y 13 ° C, las cuales llegan hasta la superficie (Fig.10a). Consecuentemente después, se produce un brusco descenso en las isotermas, salinidad y nutrientes (fosfato y nitrato) durante los días 25 de noviembre y 4 de diciembre.

Finalmente, las aguas frías comienzan a declinar durante el último período de diciembre, observándose un aumento en las temperaturas superficiales del mar del orden de los 14 a 15 (°C) (Fig.8d;9e;9f) y una disminución en la salinidad entre 34.4 a 34.5 PSU (Fig.10b), finalizando el proceso de surgencia.

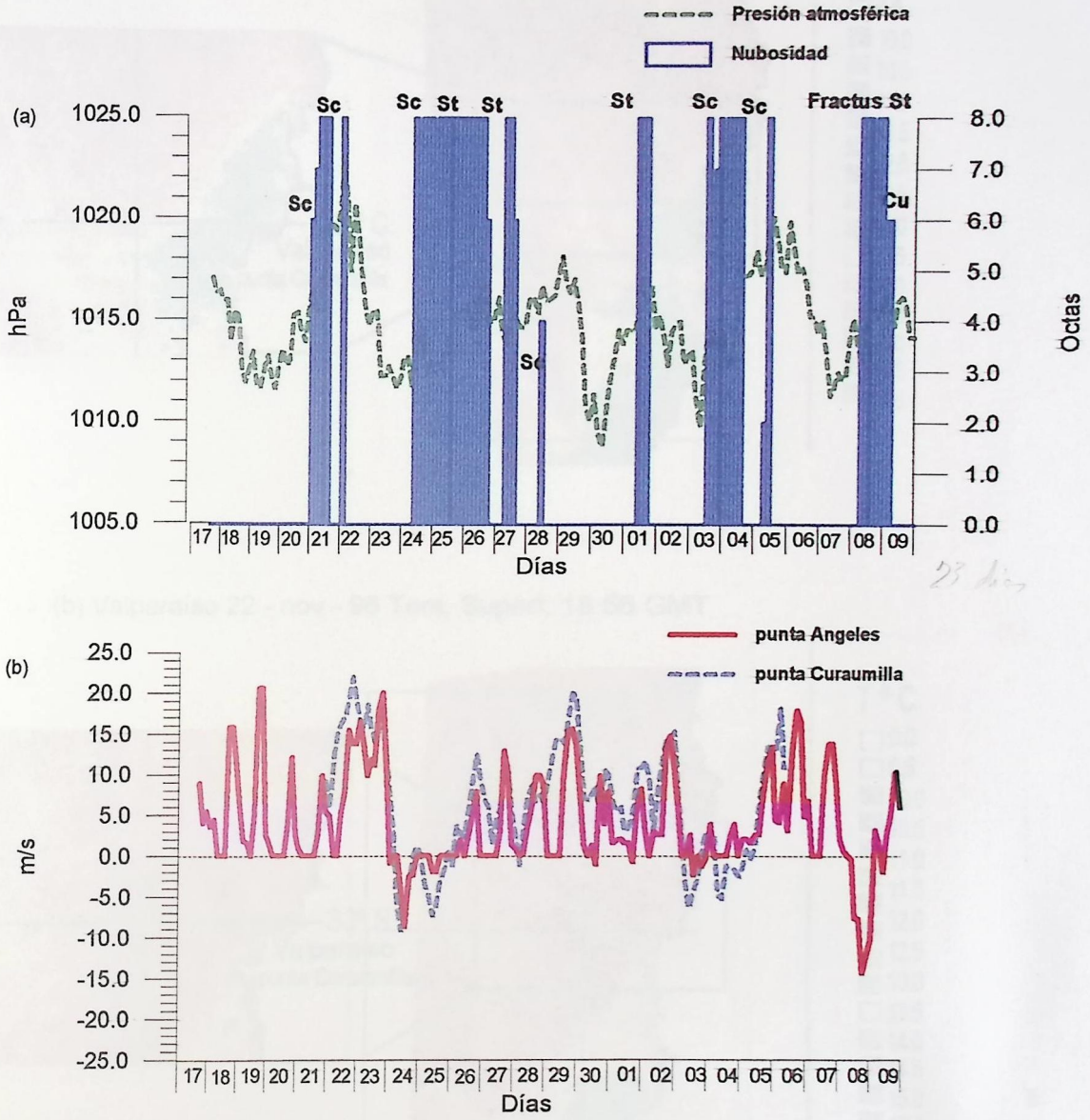


Fig.6 Series de tiempo. (a) Distribución de la presión atmosférica y nubosidad asociada al paso de depresiones costeras (b) Componente v del viento (valores positivos viento del S y valores negativos viento del N) del 17 noviembre al 09 de diciembre,1996.

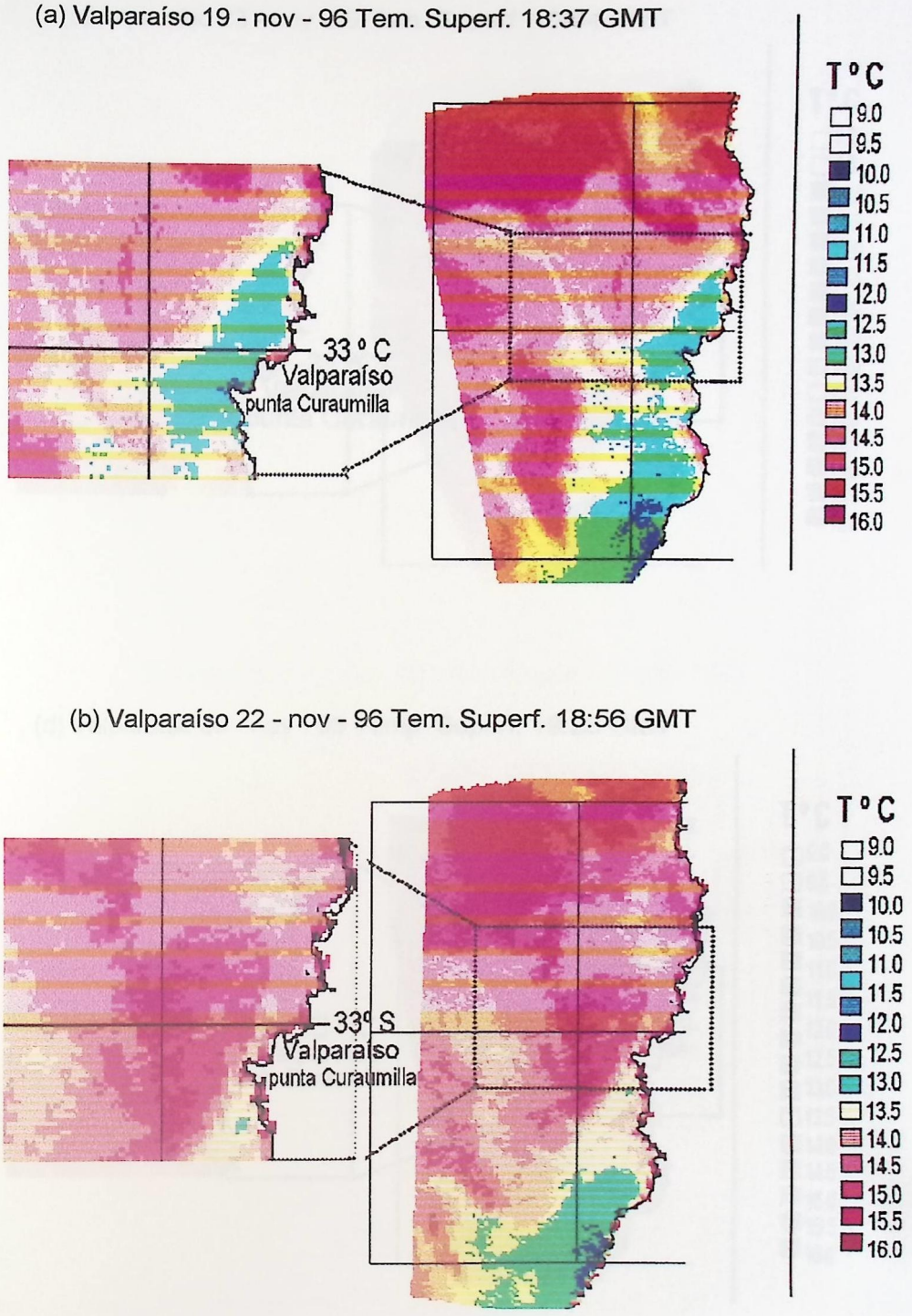
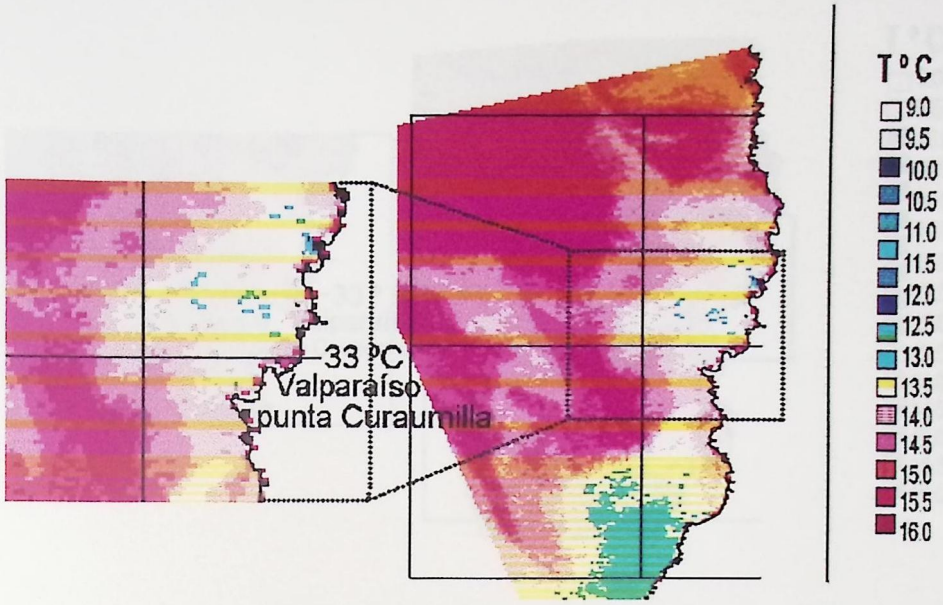


Fig.7 Imágenes de temperatura superficial del mar (TSM). (a) Surgencia activa (b) Relajación de los vientos (Centro de Estudios Espaciales, 1996).

(c)Valparaíso 23 - nov -96 Tem. Superf. 19:54 GMT



(d) Valparaíso 30 - nov - 96 Temp. Superf. 19:23 GMT

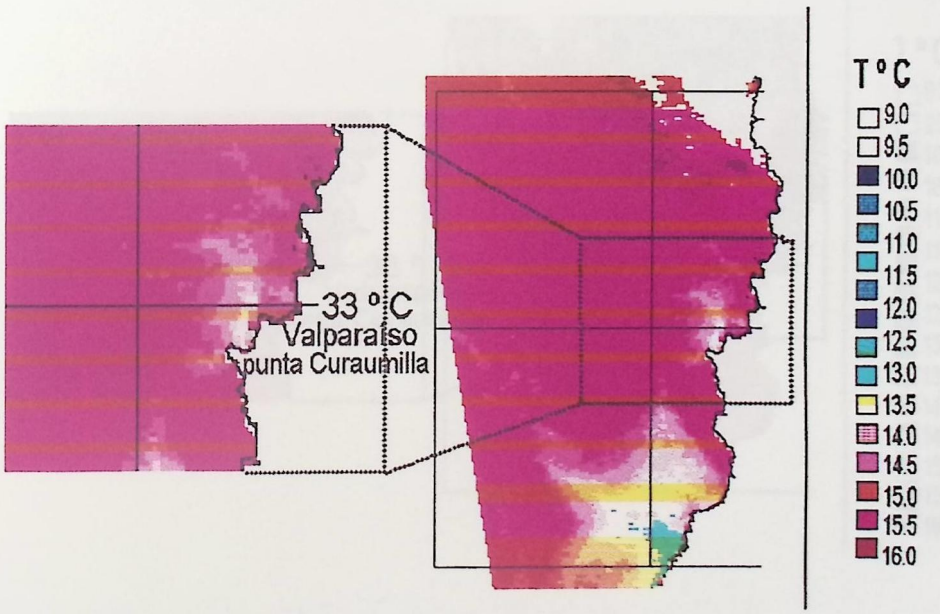
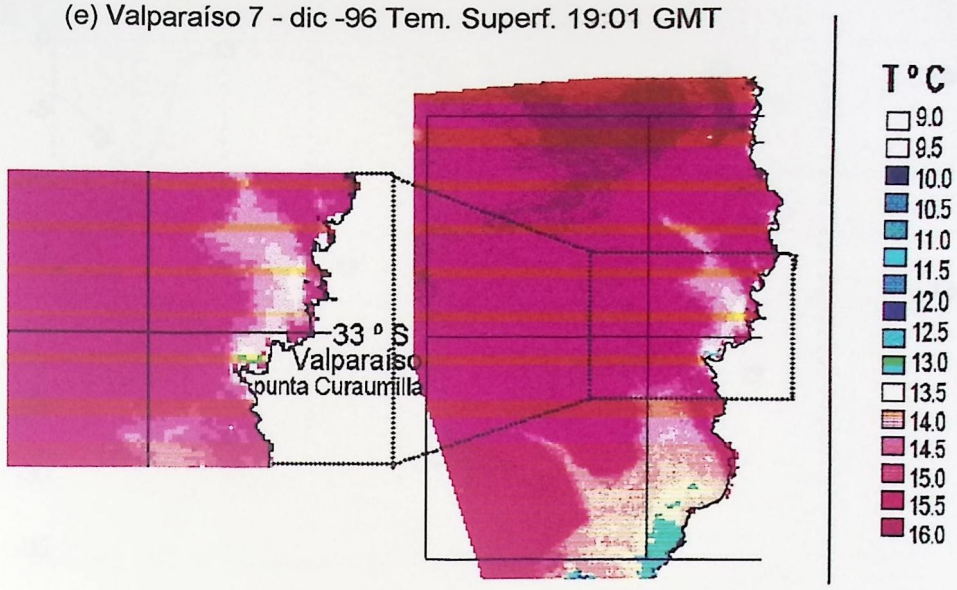


Fig.8 Imágenes de temperatura superficial del mar (TSM).(c) Intensificación de los vientos (d) Intrusión de aguas cálidas (Centro de Estudios Espaciales, 1996).

(e) Valparaíso 7 - dic -96 Tem. Superf. 19:01 GMT



(f) Valparaíso 9 - dic - 96 Tem. Superf. 18 :39 GMT

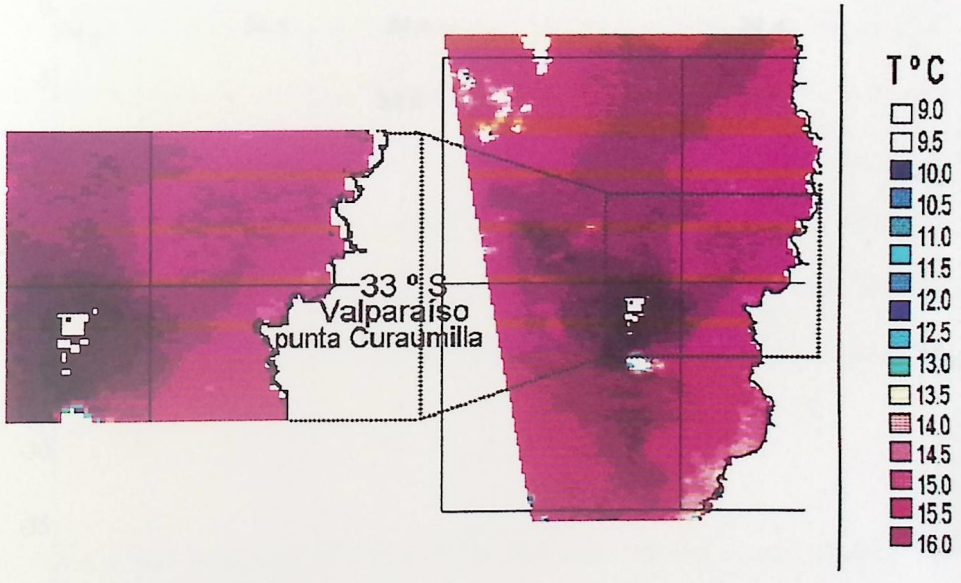


Fig.9 Imágenes de temperatura superficial del mar (TSM). (e) y (f) intrusión de aguas cálidas (Centro de Estudios Espaciales, 1996).

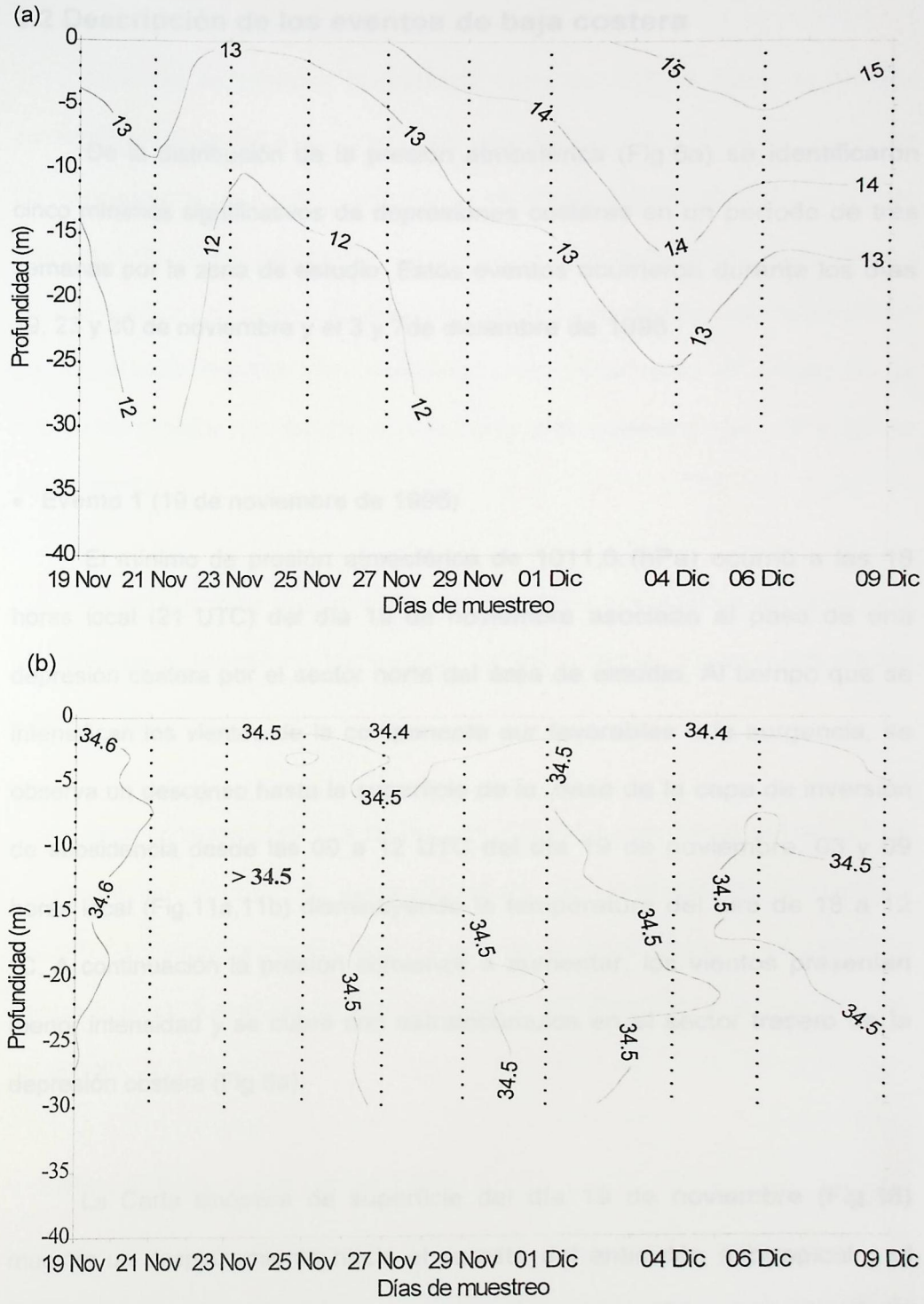


Fig. 10 Distribución de (a) temperatura (°C), (b) salinidad PSU. Promedio de las seis estaciones 1,2,3,4,5 y 6 en la bahía de Valparaíso (DIUV,1996).

3.2 Descripción de los eventos de baja costera

De la distribución de la presión atmosférica (Fig.6a) se identificaron cinco mínimos significativos de depresiones costeras en un período de tres semanas por la zona de estudio. Estos eventos ocurrieron durante los días 19, 23 y 30 de noviembre y el 3 y 7de diciembre de 1996.

- **Evento 1** (19 de noviembre de 1996)

El mínimo de presión atmosférica de 1011,6 (hPa) ocurrió a las 18 horas local (21 UTC) del día 19 de noviembre asociado al paso de una depresión costera por el sector norte del área de estudio. Al tiempo que se intensifican los vientos de la componente sur favorables a la surgencia, se observa un descenso hasta la superficie de la base de la capa de inversión de subsidencia desde las 00 a 12 UTC del día 19 de noviembre, 03 y 09 horas local (Fig.11a,11b) disminuyendo la temperatura del aire de 18 a 12 °C. A continuación la presión comienza a aumentar, los vientos presentan menor intensidad y se cubre con estratocúmulos en el sector trasero de la depresión costera (Fig.6a).

La Carta sinóptica de superficie del día 19 de noviembre (Fig.16) muestra un desplazamiento hacia el sureste del anticiclón subtropical y el paso de un sistema frontal al sur del continente, intensifican los vientos del sur favorables a la surgencia.

- **Evento 2** (23 de noviembre de 1996)

Después de alcanzar un máximo valor de 1022,6 (hPa) la presión comienza a descender hasta un mínimo significativo de 1011,6 (hPa) del día 23 de noviembre, asociado a un máximo de viento sur de 20 (m/s) en punta Angeles y de 22 (m/s) en punta Curaumilla del día anterior. Al igual que en el caso anterior se observa un descenso de la base de la capa de inversión de subsidencia (Fig.12a,12b) asociado a un incremento (8 octas) en la nubosidad costera tipo estrato durante tres días seguidos (24, 25 y 26 de noviembre).

Inmediatamente después del mínimo de la presión se produce una inversión en el sentido de los vientos, de sur a norte, y con intensidades entre 5 y 10 (m/s).

En la carta de superficie de las 18 UTC (15 horas local) del día 23 de noviembre se observa el esquema típico de una depresión costera (Fig.17).Un desplazamiento hacia el sur de la baja costera se presenta asociado a las dos altas, la alta subtropical del Pacífico y la alta fría del continente.

- **Evento 3** (30 de noviembre de 1996)

El mínimo de presión atmosférica de 1008 (hPa) ocurrió a las 06 horas local (9 UTC) del día 30 de noviembre, luego que el día anterior el viento del sur alcanzara una intensidad de 15,6 (m/s) a las 18 horas y la

base de la inversión de subsidencia descendiera hasta la superficie, se observó precisamente a la culminación de la depresión costera.

En la figura, 13a,13b del día 30 de noviembre (00 -12 UTC) la inversión descendio hasta la superficie, produciendose una diferencia térmica entre los 22 y los 13 °C respecto a la hora anterior. Veinticuatro horas más tarde se produce la nubosidad estratiforme.

En la carta sinóptica de superficie del día 30 de noviembre a las 09 horas local (12 UTC) (Fig.18) se observa un estrechamiento de las isobaras, aumentando los vientos del sector sur, debido al paso de dos sistemas frontales que cruzan hacia el lado argentino, dejando tras un sistema de baja presión.

- **Evento 4** (3 de diciembre de 1996)

El mínimo de presión atmosférica de 1009 (hPa) ocurrió a las 06 horas local (9 UTC) del día 3 de diciembre, luego que el día anterior alcanzara un máximo de viento sur de intensidad de 15 (m/s). Al tiempo que se observa el descenso de la base de la inversión de subsidencia a la superficie desde las 00 UTC hasta las 12 UTC (Fig.14a,14b). A continuación se observa un aumento en la presión y un incremento en la nubosidad tipo estratocúmulos.

E n la figura 19, muestra el centro de la baja costera asociado con la alta subtropical. En la parte trasera de la baja se observa cielos cubiertos y

vientos del norte, mientras que su centro los cielos se presentan libres de nubosidad.

- **Evento 5** (7 de diciembre de 1996)

El mínimo de presión atmosférica de 1011 (hPa) ocurrió a las 06 horas local, asociado a un máximo viento sur al día anterior de intensidad de 18 (m/s) y a un descenso de la base de la capa de inversión de subsidencia hasta la superficie (Fig.15a,15b) en que se produce un descenso térmico entre 15 a 19 °C. Posteriormente nubosidad tipo fractus estrato seguido de los cúmulos aparecen los días 8 y 9 de diciembre, respectivamente (Fig.6a). Debido al paso de un sistema frontal entre la baja costera y la alta subtropical.

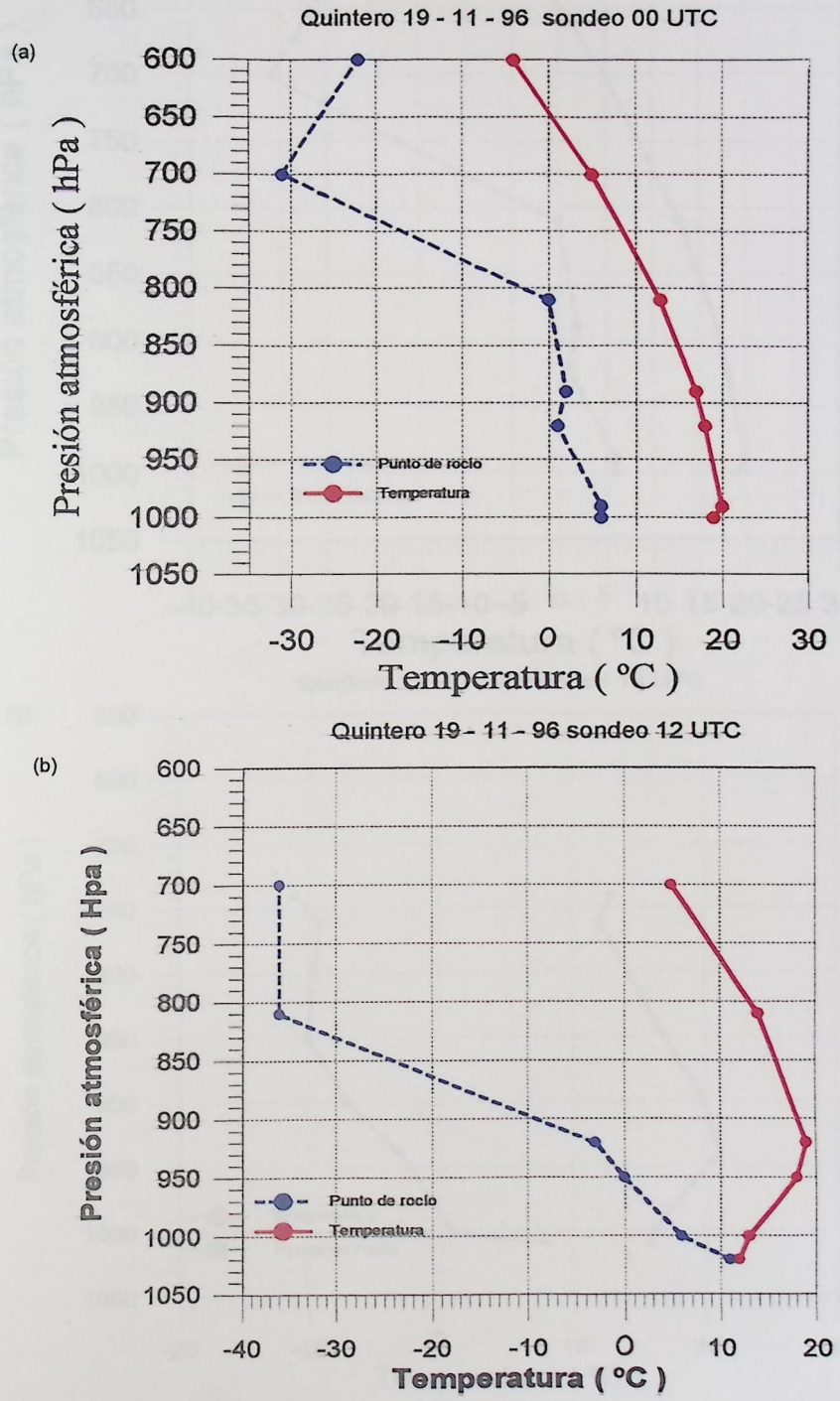


Fig.11 Perfiles verticales de temperatura y punto de rocío a las (a) 00UTC y (b) 12 UTC.

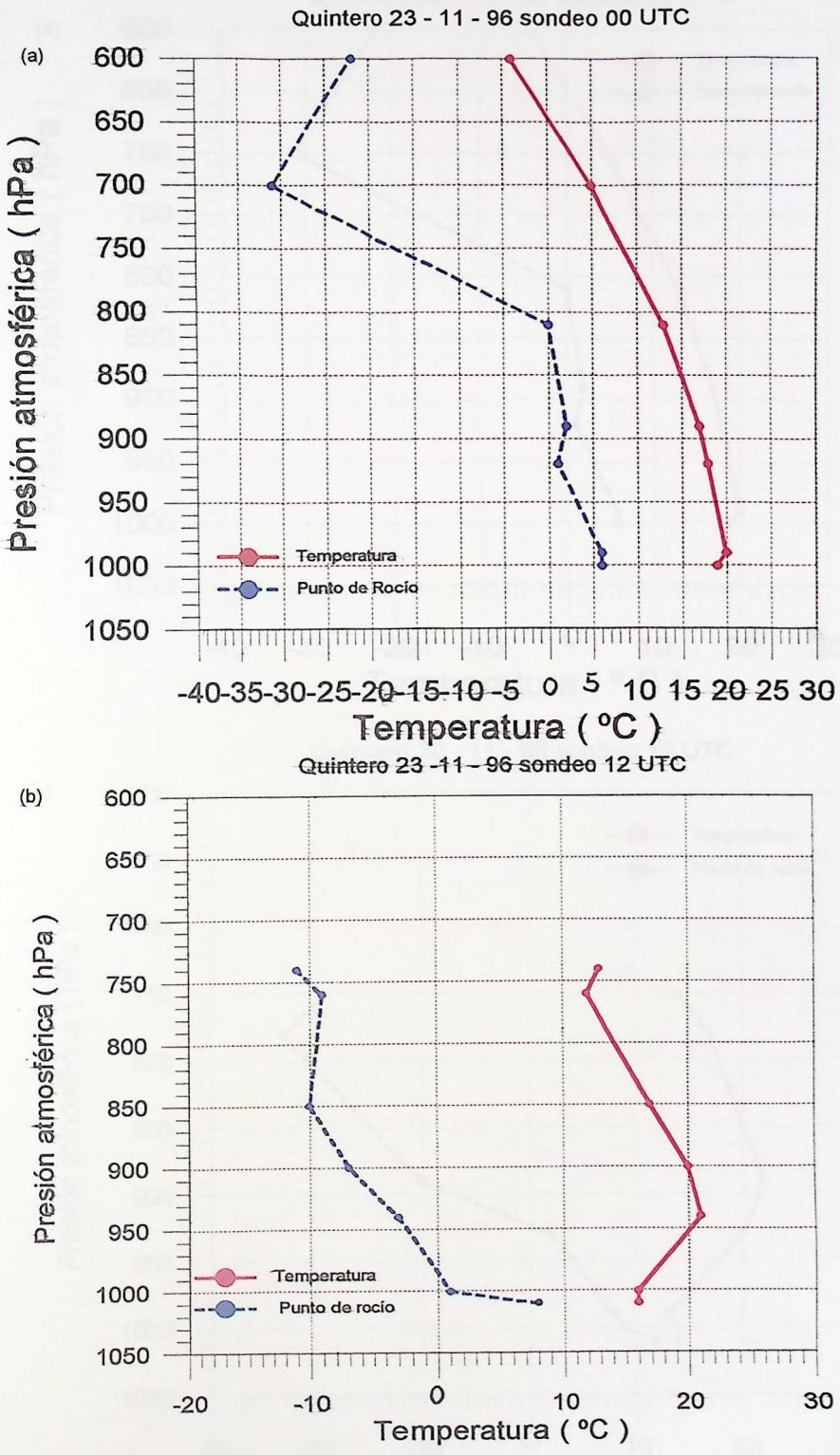


Fig.12 Perfiles verticales de temperatura y punto de rocío a las (a) 00UTC y (b) 12UTC.

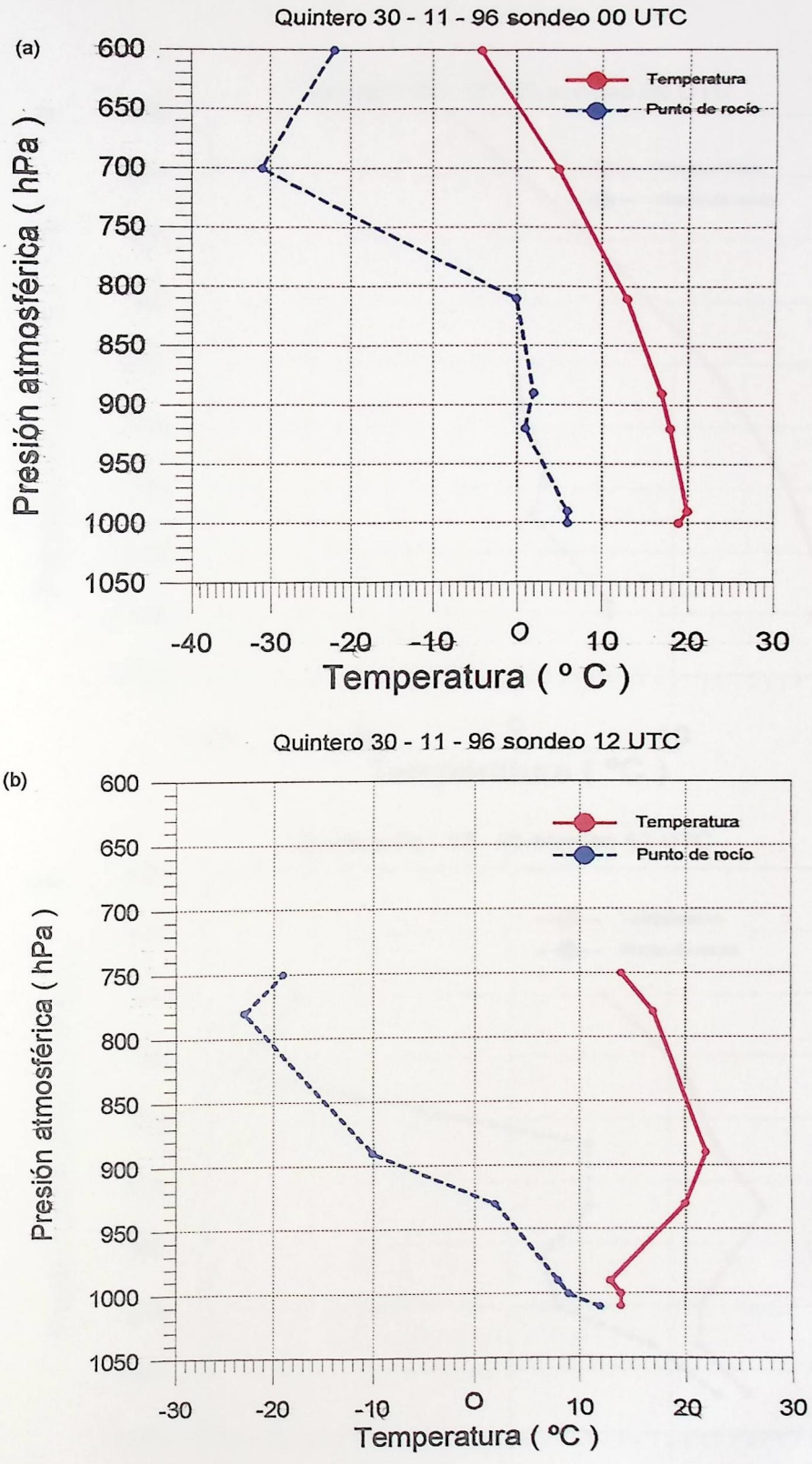


Fig.13 Perfiles verticales de temperatura y punto de rocío a las (a) 00UTC y (b) 12UTC.

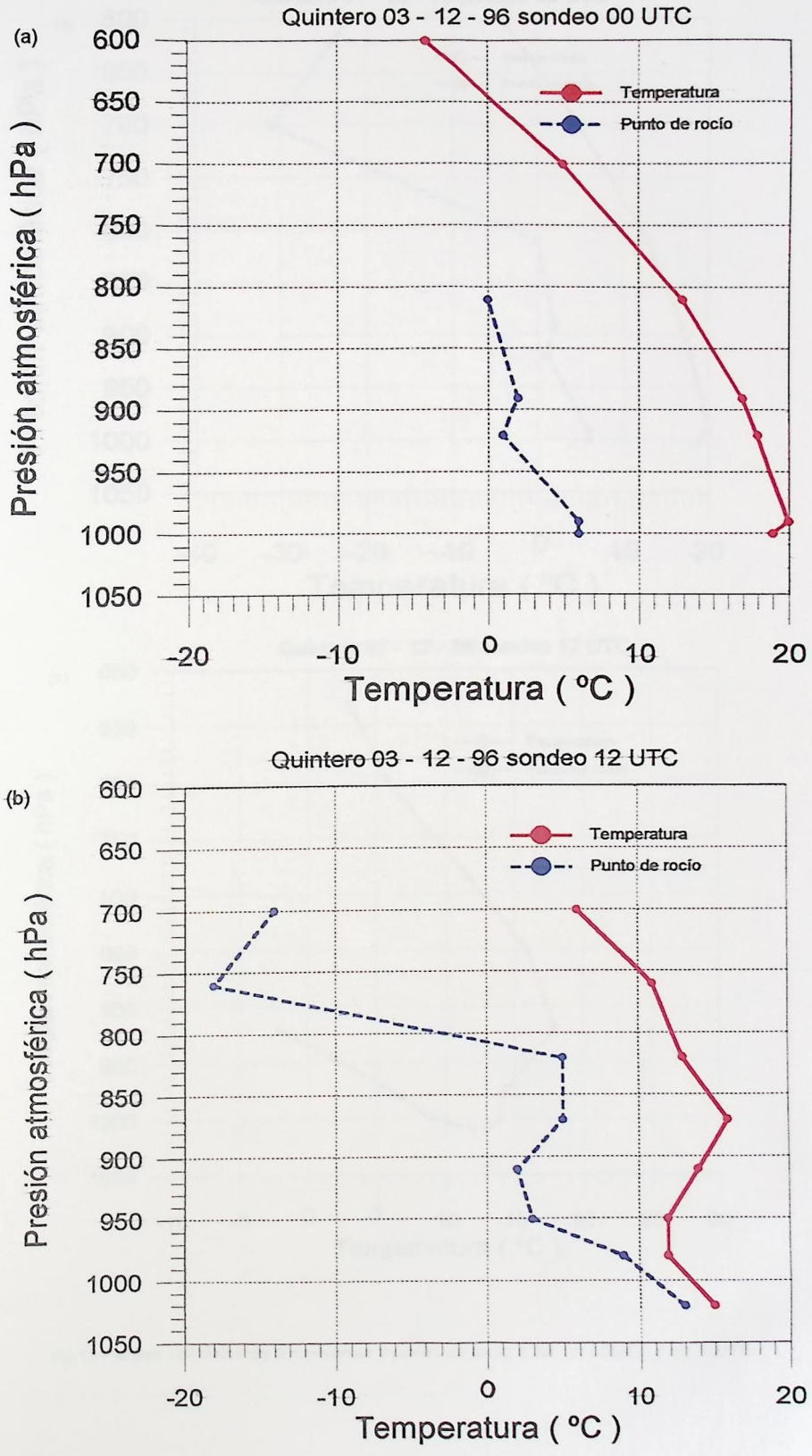


Fig.14 Perfiles verticales de temperatura y punto de rocío a las (a) 00UTC y (b) 12UTC.

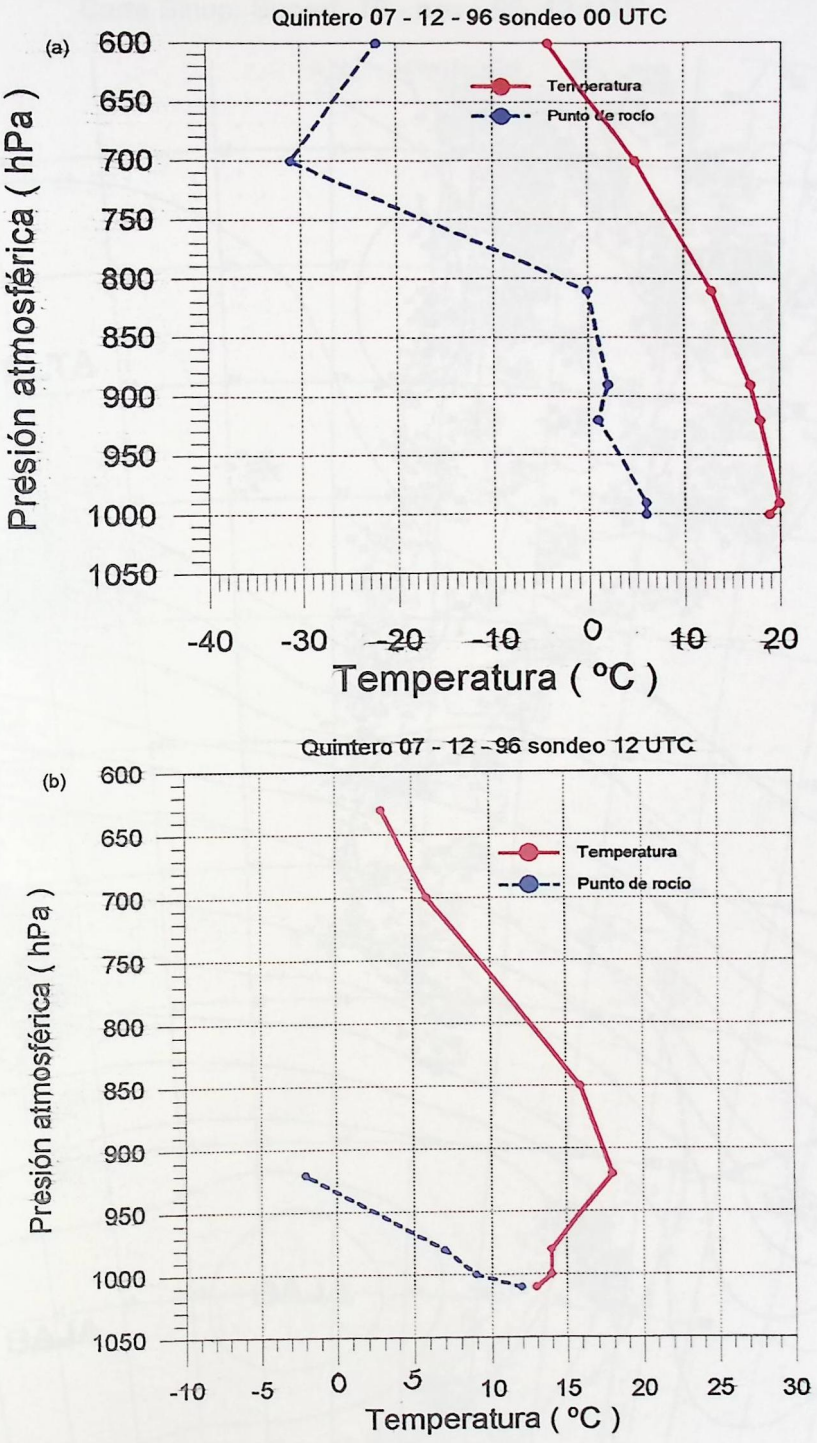


Fig.15 Perfiles verticales de temperatura y punto de rocío a las (a) 00UTC y (b) 12UTC.

Carta Sinop. Superf. 19 - nov - 96 12 UTC

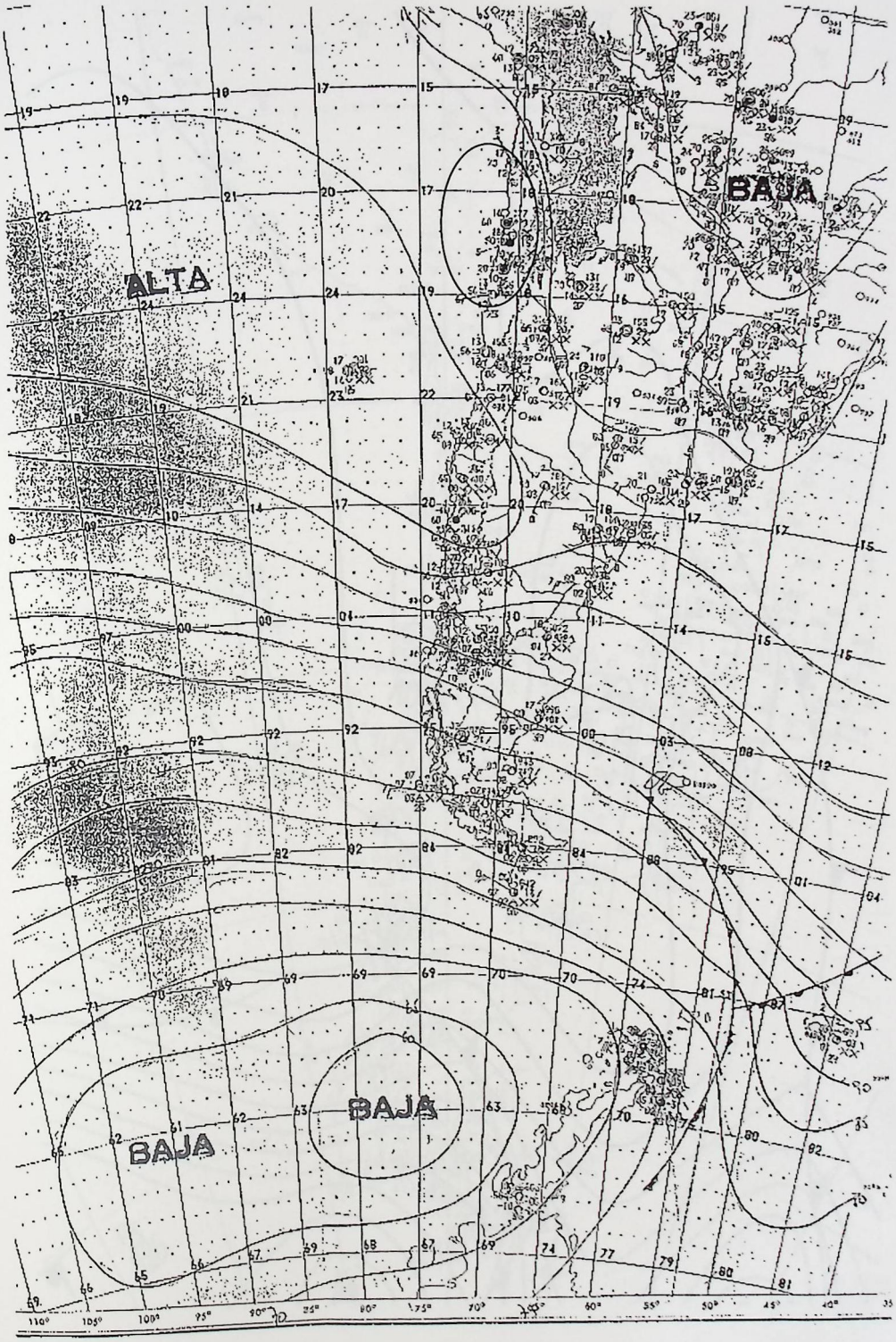


Fig.16 Carta sinóptica de superficie 12 UTC (9 hora local)

Carta Sinop. Superf. 23 - nov - 96 18 UTC

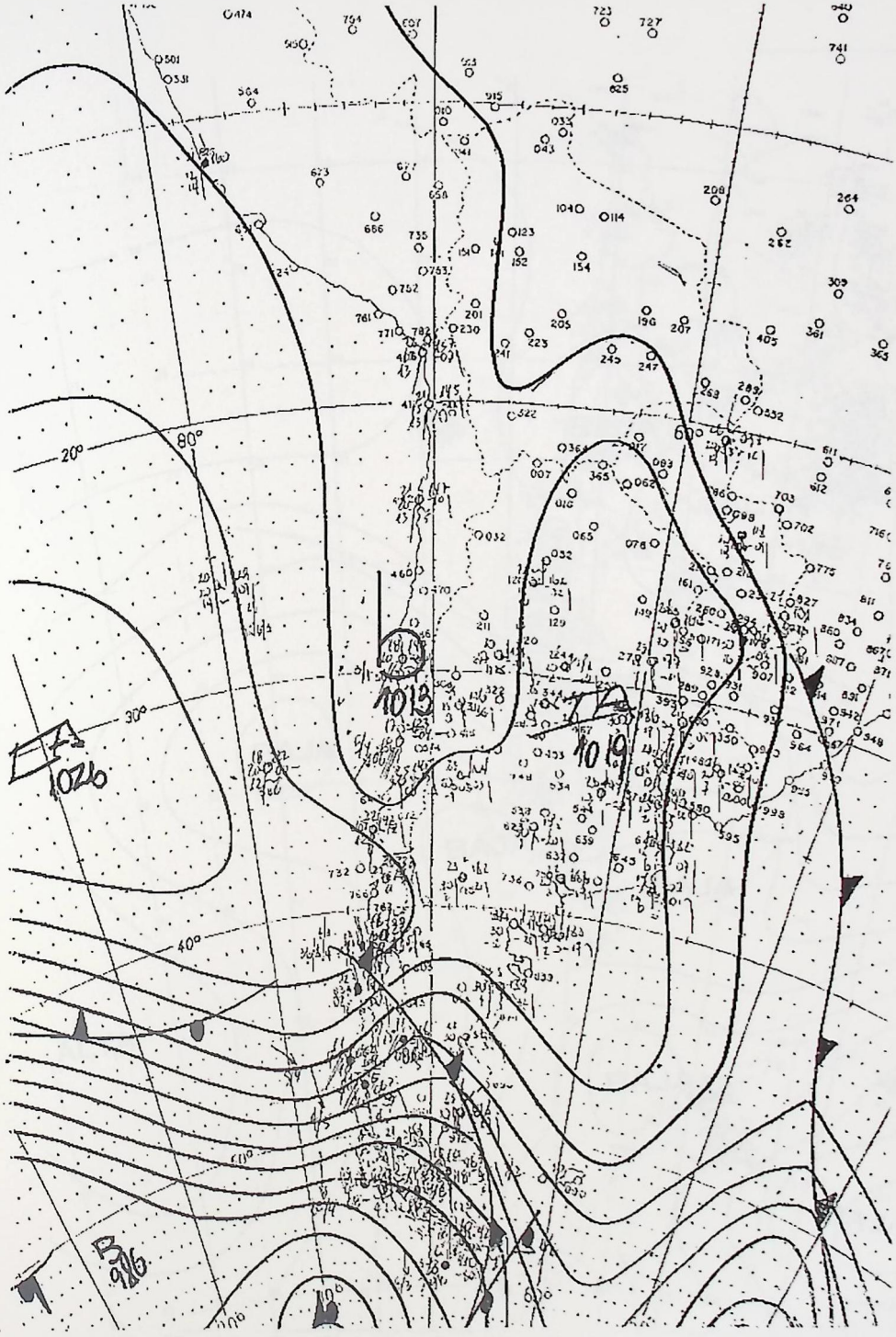


Fig.17 Carta sinóptica de superficie 18 UTC (15 horas local).

Carta Sinop. Superf. 30 - dic - 96 12 UTC

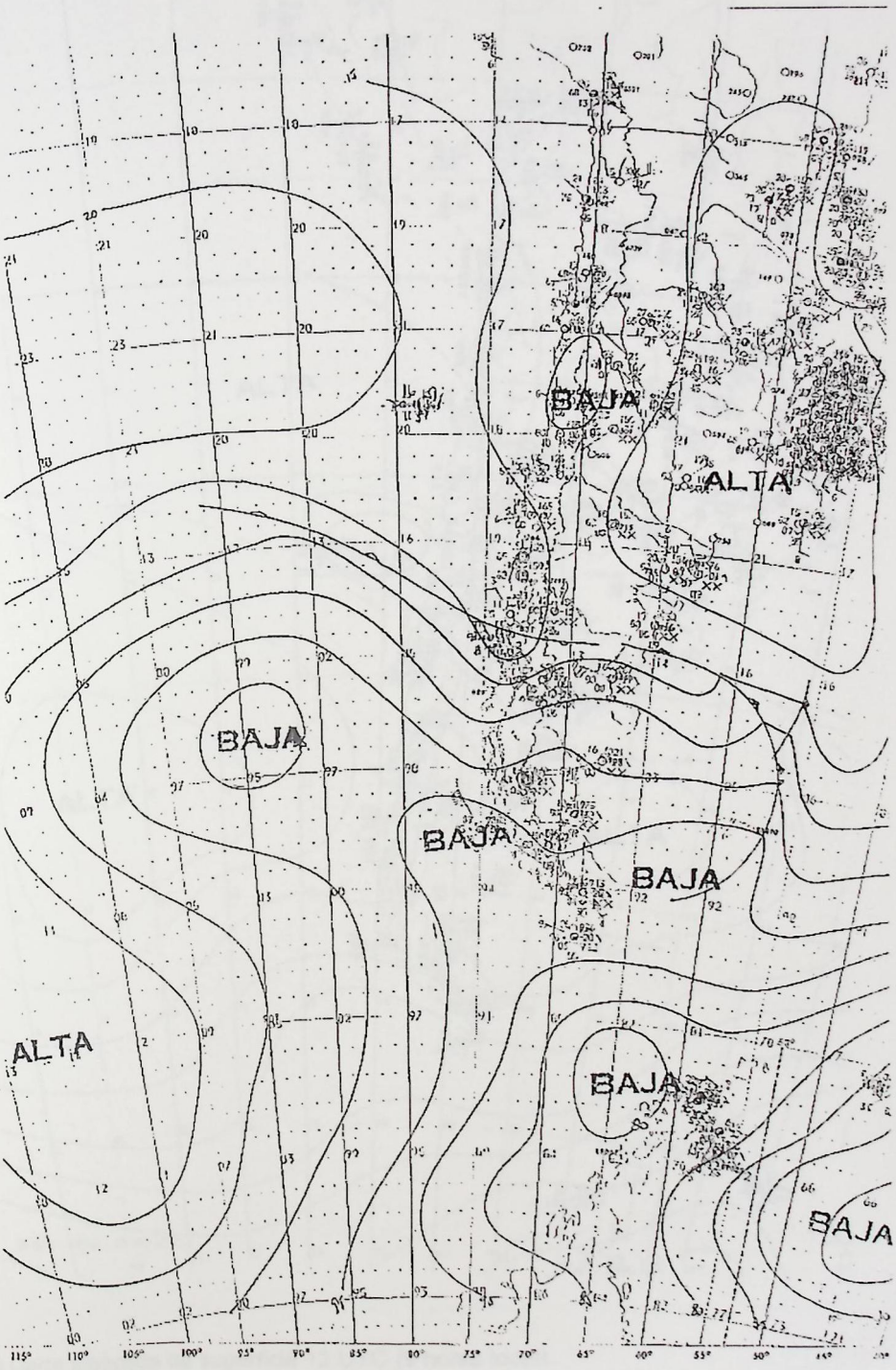


Fig.18 Carta sinóptica de superficie 12 UTC (9 horas local)

Carta Sinop. Superf. 3 - dic - 96 12 UTC

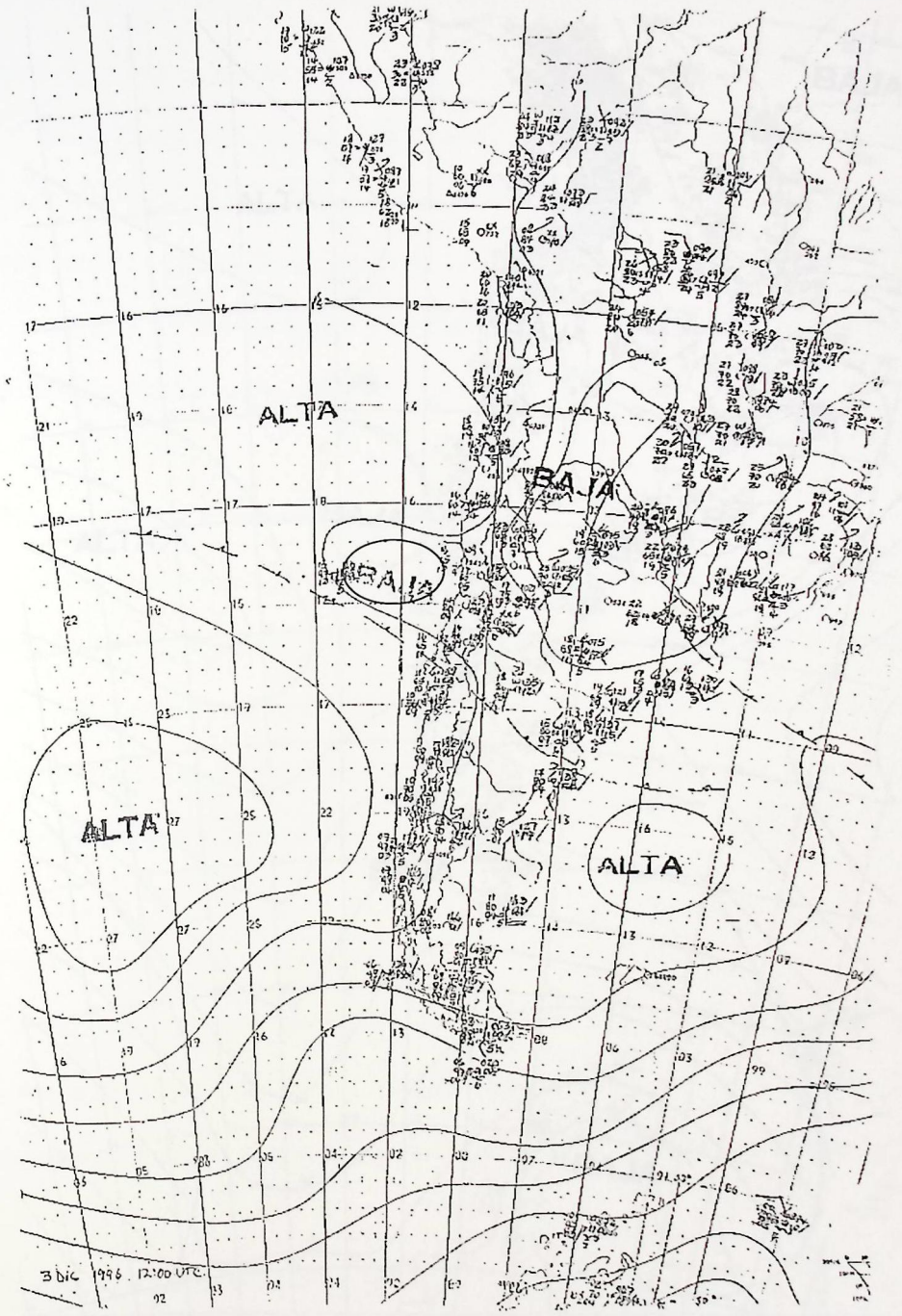


Fig.19 Carta sinóptica de superficie 12 UTC (9 horas local).

Carta Sinop. Superf. 7- dic - 96 12 UTC

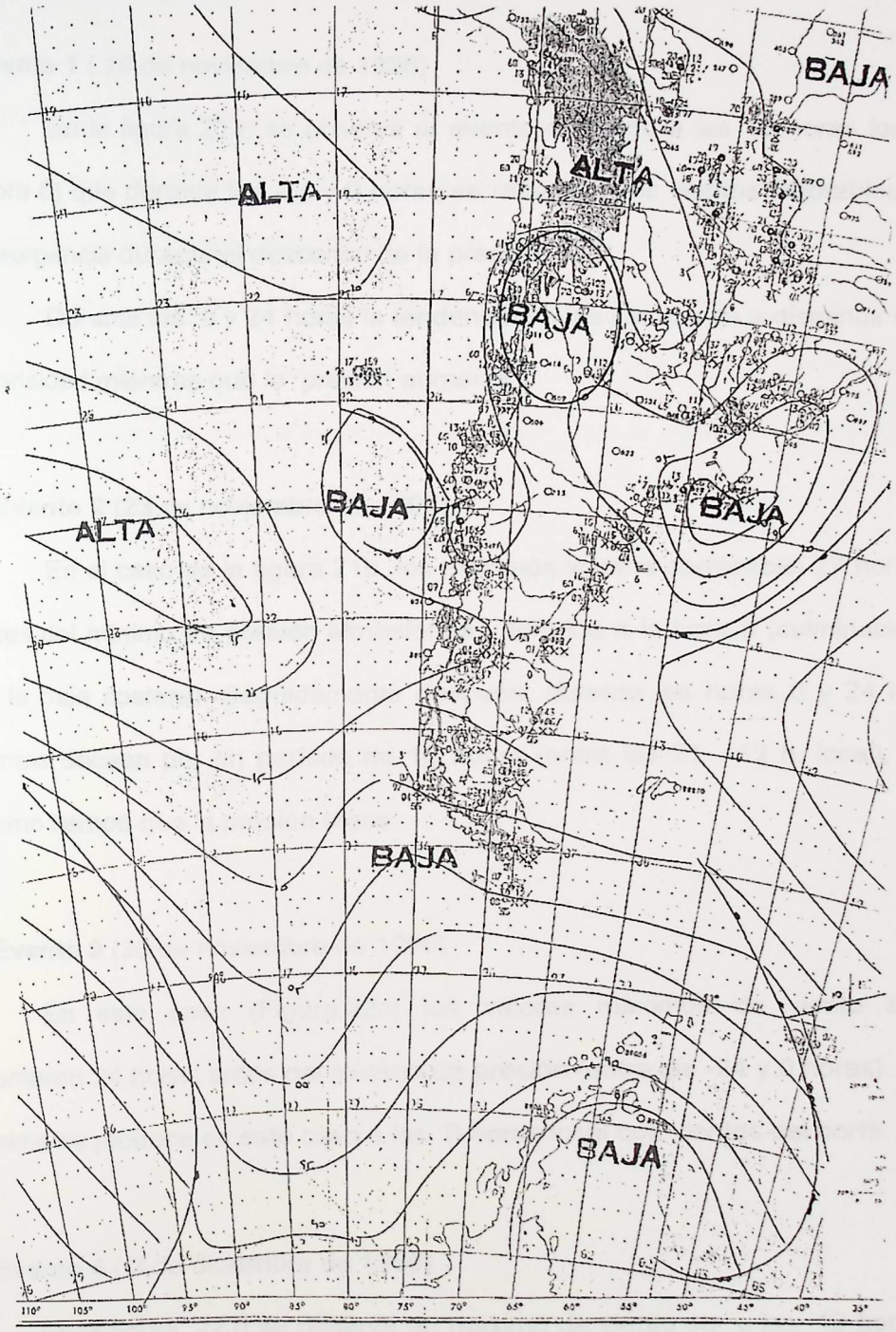


Fig 20. Carta sinóptica de superficie 12 UTC (9 horas local).

3.3 Análisis Compuesto

Evento 1 (19 de noviembre de 1996)

En la figura 21a, se observa el evento centrado a las 18 horas local (hora 0) que durante las -24 y 0 horas se refuerzan los vientos favorables a la surgencia durante el descenso de la presión.

Durante las 0 y 24 horas la tendencia en los vientos es a disminuir en intensidad mientras que la presión aumenta.

- **Evento 2** (23 de noviembre de 1996)

En el caso de la figura 21b, los máximos vientos comienzan 27 horas antes del mínimo de presión atmosférica y termina a la hora 0 (culminación de la baja costera). Seguidamente después, durante las horas 0 y 24 los vientos decaen por un período de 18 horas (entre las 21 - 12 h. local), al mismo tiempo que la presión crece.

- **Evento 3** (30 de noviembre de 1996)

En este caso (Figura,22c) los valores máximos de viento sur ocurrieron 24 horas antes del mínimo de presión (entre las -24 y 0 horas). El mínimo se produce en este caso a las 6 horas local con vientos del norte.

- **Evento 4** (3 de diciembre de 1996)

En la figura, 22 d se observa un máximo de viento sur a las -12 horas antes de la culminación de la depresión costera (hora 0) centrado a las 6

horas local del día 3 de diciembre. Luego de la hora 0 se produce un aumento lento de la presión y viento débil del norte.

- **Evento 5** (7 de diciembre de 1996)

Entre las horas -48, -24 y 0 (Fig.23e) se observa una disminución de la presión atmosférica, alcanzando su mínimo a las 6:00 h. local de la hora 0, asociado a un mínimo valor de viento norte. Sin embargo, no se observa una relajación de los vientos hasta el día 8 de diciembre (24 horas) en que estos cambian de dirección (N) coincidiendo con la aparición de fractus estratos.

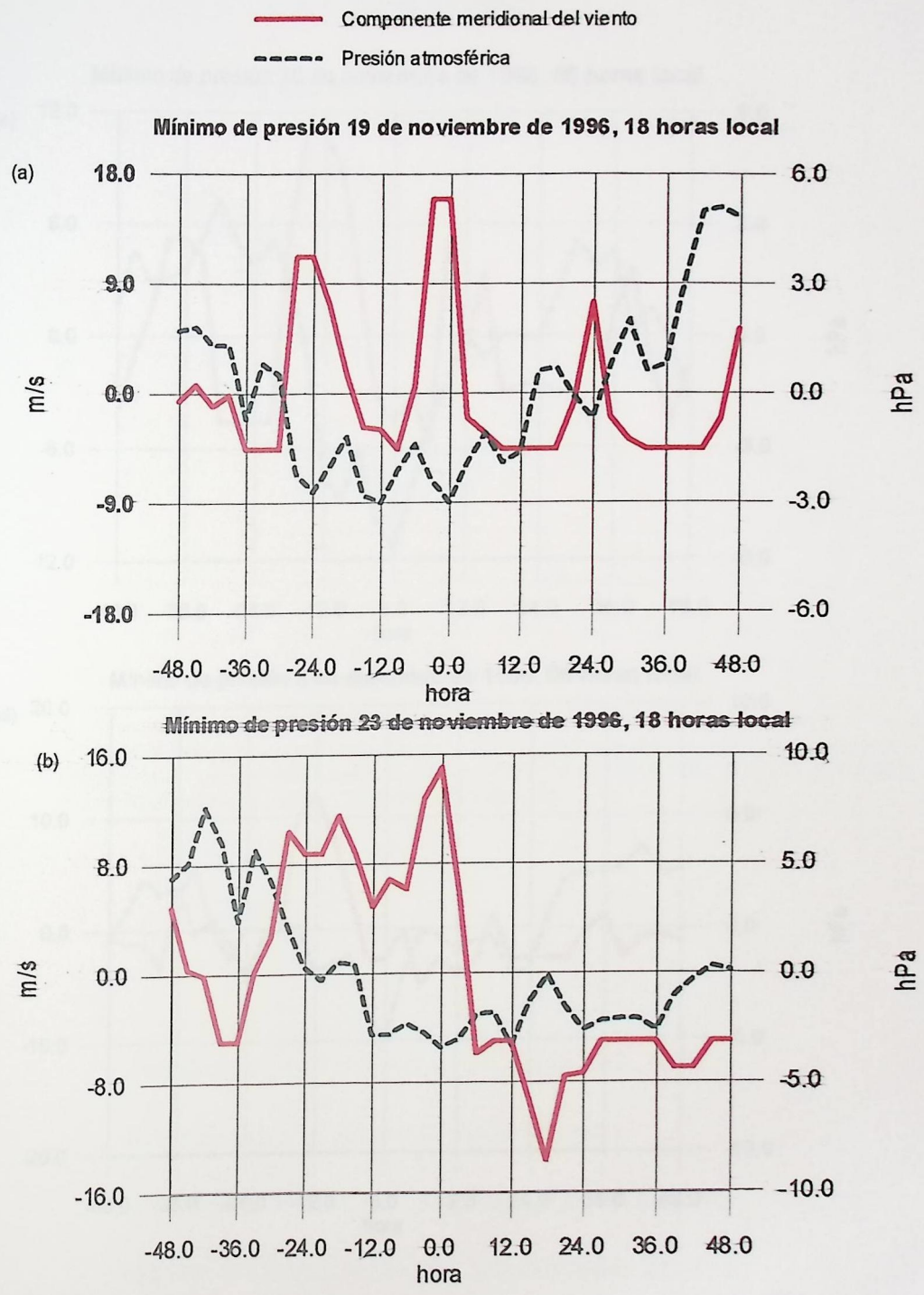


Fig.21 Análisis compuesto de las anomalías de los eventos de vientos asociados a la presión atmosférica(a nivel del mar). Centrado a la hora cero cuando la presión alcanza su mínimo valor (culminación de la baja costera). (a) 19 de noviembre y (b) 23 de noviembre de 1996

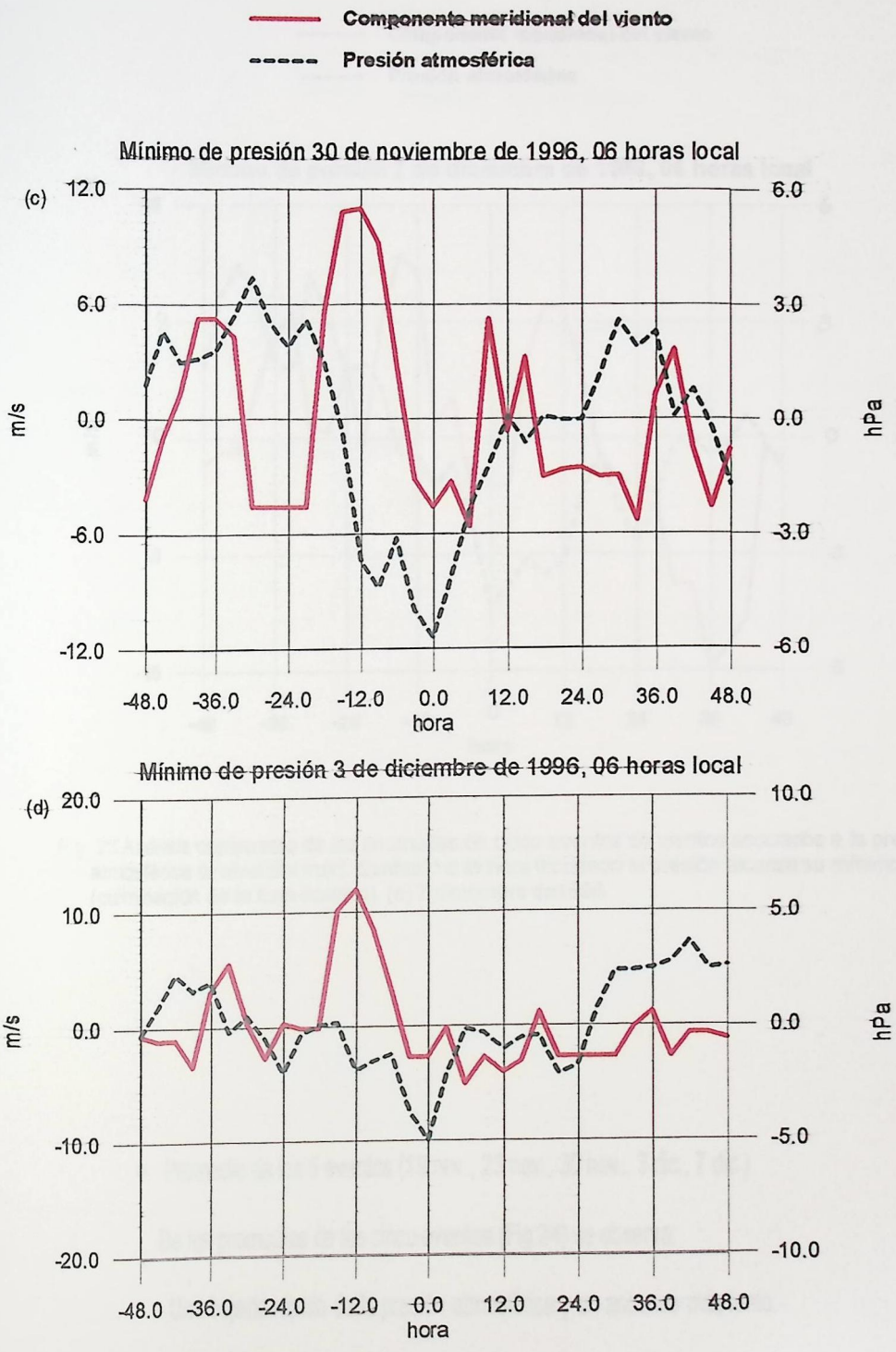


Fig.22 Análisis compuesto de las anomalías de los eventos de vientos asociados a la presión atmosférica (a nivel del mar). Centrado a la hora cero cuando la presión alcanza su mínimo valor (culminación de la baja costera). (c) 30 de noviembre y (d) 03 de diciembre de 1996.

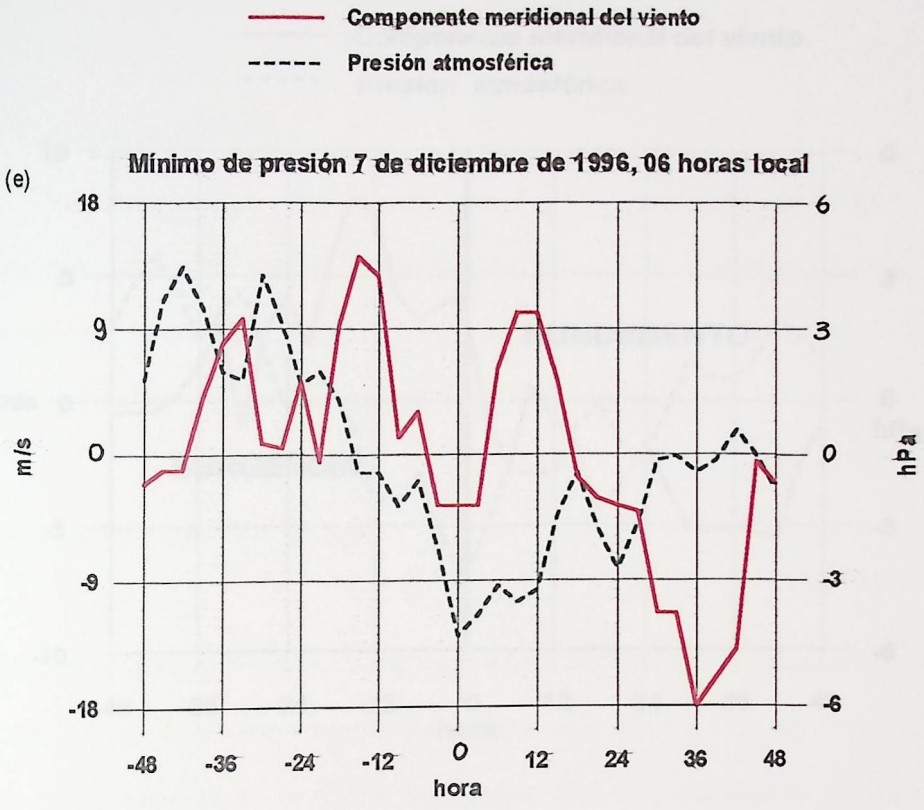


Fig. 23 Análisis compuesto de las anomalías de cinco eventos de vientos asociados a la presión atmosférica (a nivel del mar). Centrado a la hora 0 cuando la presión alcanza su mínimo valor (culminación de la baja costera). (e) 7 diciembre de 1996.

- Promedio de los 5 eventos (19 nov., 23 nov., 30 nov., 3 dic., 7 dic.)

De los promedios de los cinco eventos (Fig.24) se observa:

- Una bajada rápida de la presión atmosférica y un ascenso más lento.

- Máximos vientos del sur durante el descenso de la presión (surgencia).

- Componentes del norte durante el ascenso de la presión (hundimiento).

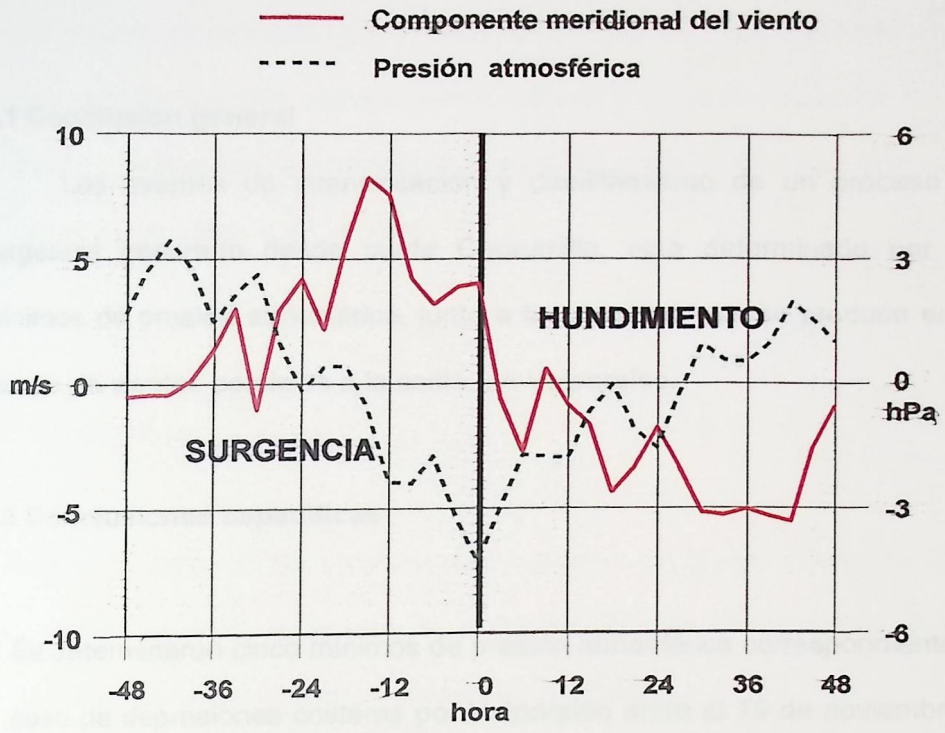


Fig.24 Promedio de los cinco eventos de vientos asociados al paso de depresiones costeras (centrados a la hora cero).

IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

4.1 Conclusión general

Los eventos de intensificación y debilitamiento de un proceso de surgencia generado desde punta Curaumilla, esta determinado por los mínimos de presión atmosférica, junto a los cambios que se produce en el campo de vientos paralelos a la costa de Valparaíso.

4.3 Conclusiones especificas

- Se determinaron cinco mínimos de presión atmosférica correspondiente al paso de depresiones costeras por Valparaíso entre el 19 de noviembre y el 09 de diciembre de 1996 asociados con cinco eventos de máximo viento sur antes del mínimo de presión.

- Un promedio de los cinco eventos centrado en los mínimos de presión muestra que los máximos vientos de componente Sur ocurrieron durante el descenso de la presión delante de la baja costera (12 hrs antes y durante el mínimo de presión).

- Los eventos de depresión costera ocurrieron en escala de tiempo de cinco a siete días, delimitados por dos a tres días por la nubosidad costera y viento del norte.

- La respuesta del océano en términos de bajas temperaturas y altas salinidades en promedio de las seis estaciones fue menos intensa en los dos últimos eventos, posiblemente debido a la profundización de las aguas ecuatoriales subsuperficiales asociada con el paso de una onda oceánica atrapada a en la costa.

4.2 Sugerencias

- Analizar la variación del nivel del mar a lo largo de la costa norte de Chile para verificar el paso de la fase de profundización de la termoclina de una onda Kelvin durante los últimos 10 días de medición.

- Aumentar la extensión del estudio a 30 días en cuanto a los muestreos de temperatura y salinidad para determinar con mayor precisión la fase de inicio, madurez y término de la surgencia.

- Realizar más trabajos interdisciplinarios entre los campos de la meteorología, oceanografía y biología marina de la zona de Valparaíso.

- Instalar estaciones meteorológicas automáticas en lugares estratégicos para obtener una mayor representatividad en los vientos con miras al estudio de la surgencia.

V. DISCUSION Y SINTESIS

El desarrollo de un proceso de surgencia en relación a ciclos de intensificación y relajamiento de los vientos asociados con el paso de depresiones costeras por la costa de Valparaíso, ha caracterizado este estudio. Los ciclos de la componente sur del viento estan en fase con los cambios en la nubosidad y en la temperatura superficial del mar. Al tiempo que los vientos se debilitan entra la nubosidad estratocumuliforme y aumenta la temperatura superficial del mar.

Los resultados indican que los máximos vientos favorables a la surgencia ocurren en general durante el descenso de la presión.

El aumento en las temperaturas superficiales del mar, durante la relajación va acompañado de una disminución en la salinidad y en los nutrientes.

El tiempo de respuesta en el océano en relación a los eventos de surgencia es rápido aunque podría varíar de acuerdo a la persistencia e intensidad de los vientos favorables a la surgencia.

Las imágenes del satélite y el análisis compuesto de los vientos característicos ayudan a ejemplificar el proceso de surgencia; entre los días 19 y 23 de noviembre de 1996, se establece una fase de decaimiento o relajación del proceso de surgencia relacionado con una disminución y

cambio de sentido de los vientos (de sur a norte), después del mínimo de presión atmosférica. Consecutivamente la presión comienza a aumentar y se produce la nubosidad estratocúmulo debido a un ascenso de la base de la capa de inversión de subsidencia asociada al borde oriental del anticiclón subtropical.

Por otra parte, en los perfiles de distribución vertical de temperatura y salinidad ocurre un descenso en las isotermas a lo largo del período, asociado a una fase cálida o relajación en el proceso de surgencia durante los primeros dos días de estudio. El 23 de noviembre el afloramiento de aguas frías (13 ° C) alcanza su máxima extensión, asociado a un mínimo de presión atmosférica y a una mayor duración e intensidad de los vientos del sur entre 10 a 20 (m/s) en las horas precedentes.

Después de este mínimo de presión, la base de la inversión comienza a elevarse ocurriendo un mayor aumento en la nubosidad estratiforme que cubre el área de estudio durante tres días consecutivos. Durante estos días la surgencia cesa.

La surgencia sigue decayendo hasta el día 4 de diciembre de 1996, donde se produce un nuevo reforzamiento en los vientos favorables y una elevación de las isotermas de 13 y 14 ° C, sin embargo, estas no alcanzan a llegar a superficie, dandose por terminado el proceso de surgencia. En las imágenes del satélite de los días 30 de nov., 7 de dic. y 9 de dic., de 1996,

se demuestra este hecho con una advección de las aguas oceánicas cálidas.

Estudios realizados al NW de Africa, asocian el brusco decaimiento de la surgencia con una variación del nivel del mar a lo largo de la costa debido a efectos locales de la presión atmosférica y del viento, cuando se aproxima una depresión costera. Esta variación del nivel del mar a lo largo de la costa de Chile ocurre durante un periodo de 50 días asociado a la fase de una onda Kelvin durante los meses de primavera - verano (Shaffer et al., 1997).

VI . BIBLIOGRAFIA

Avaria, S., Palma, S., Sievers, H. y Silva, N., 1989. *Revisión sobre aspectos oceanograficos fisicos, quimicos y planctologicos de la bahía de Valparaíso y áreas adyacentes*. Rev. Biol. Pesq., 18: 67 - 96.

Brandhorst, W. 1963. *Descripción de las condiciones oceanográficas en las aguas costeras entre Valparaíso y el golfo de Arauco*. Ministerio de Agricultura, Dirección de Agricultura y Pesca, Santiago, Chile, 55 pp.

Brandhorst, W. 1971. *Condiciones Oceanográficas estivales frente a la costa de Chile*. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14 (3): 45 - 84.

Barbieri M. A., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro y 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.

Cáceres, M. And D. Arcos., 1991. *Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a las costas de Concepción, Chile*. Invest. Pesq. (Chile), 36, 27 - 38.

Carvajal, B., 1994. *Transporte y turbulencia y su incidencia en el reclutamiento de la anchoveta (Engraulis ringens) en la Zona Norte de Chile (20 ° S)*. Tesis para optar al titulo de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.

Enfield, D., 1981. *Thermally driven wind variability in the planetary boundary layer above Lima, Peru*. J. Geophys. Res., 86, 2005 - 2016.

Eastman, J. R. 1992. *IDRISI Versión 4.1, User's Guide and Technical References*. Clark University Graduate School of Geography, USA, 213 pp.

Fonseca, T y V. Hickmann., 1979. *Nota sobre la circulación de la bahía de Valparaíso*. Invest. Mar., Valparaíso, 7 (1): 47 - 53.

Fonseca, T. y Farías, M. 1987. *Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota*. Invest. Pesq., 34: 33-46.

Fonseca, T., M.A. Barbieri, H. Olguín, S. Palma, N. Silva y M. Toledo., 1988. *Eventos de surgencia en la zona de Valparaíso y sus efectos en ecosistema marino*. Informe final FONDECYT. 1180/85, 137 pp.

Fuenzalida, H., 1971. *Climatología de Chile*. Publicación interna de la Sección Meteorología. Depto. de Geofisica y Geodesia. Universidad de Chile. 39 - 40 pp.

Fuenzalida, H., 1992. *Proceso de surgencia en la región norte de Chile, latitudes 20 º 30′ S - 21 º 45′ S.*Invest. Cient. y Tecnol., Serie: Ciencias del Mar, 2, 79 - 103.

Gill, A. E., 1977. *Coastally trapped waves in the atmosphere.* Quart. J. Roy. Met. Soc. 103, 431 - 440.

Gill, A.E., 1982. *Atmosphere - Ocean Dynamics.* International Geophysics series vol. 30 415 - 420.

Hickmann, V. 1976. *Corrientes superficiales de la bahía de Valparaíso y zona adyacente, determinadas por el sistema de botellas de deriva.* Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 126 pp.

Huyer, A., R. L. Smith and T. Paluszkiewicz, 1987. *Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, 1981 - 1984.* J. Geophys. Res. , 92, 14, 297 - 14, 307.

Huyer, A., M. Knoll, T. Paluszkiewicz and R. L. Smith, 1991. *The Peru Undercurrent: a study in variability.* Deep-Sea Res., 38 (Suppl. 1), S247-S271.

Jury, M.R., 1986. *The sudden decay of upwelling off the cape peninsula, south Africa: a case study.* S. Afr. J. mar. Sci. 4: 111 - 118.

Kessler, W. S., and M. J. Mc Phaden, 1995. *Oceanic equatorial waves and the 1991- 1993 El Niño*. J. Climate, 8, 1757 - 1774.

Madden, R., and P. R. Julian, 1971. *Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific*. J. Atmos. Sci., 42, 1107 - 1122.

Madden, R., and P. R. Julian, 1972. *Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40- 50 day period*. J. Atmos. Sci., 29, 1109 - 1123.

Montecinos, A., 1991. *El efecto del fenómeno de El Niño en los vientos favorables a la surgencia costera*. Tesis para optar al titulo de Oceanografo. Universidad Católica de Valparaíso.

Nelson, G and L. Hutchings, 1983. *The Benguela Upwelling Area*. Prog. Oceanog. vol. 12, pp. 333 - 356.

Pizarro O., S. Hormazabal, A. González y E. Yañez, 1994. *Variabilidad del viento, en el nivel del mar y la temperatura en la costa norte de Chile*. Invest. Mar., Valparaíso, 22, 85 - 101.

Reason, C. and M. Jury, 1990. *On the genaration and propagation of the southern Africa coastal-low*. J. Meteorol. Soc., 116: 1133 - 1151.

Reyes, E. y H. Romero, 1977. *Climatología e interacción océano - atmósfera en la bahía de Valparaíso*. Rev. Biol.Mar., Valparaíso, 16 (2): 125 - 159.

Rutllant, J., 1981. *Subsidencia forzada sobre ladera andina occidental y su relación con un episodio de contaminación atmosférica en Santiago*. Tralka 2, 57 - 76.

Rutllant, J., H. Fuenzalida, M. Farías, J. Moraga y V. Montecinos, 1988. *Comportamiento de la capa atmosférica marina a 29,5 S y su relación con un evento de surgencia*. Resumenes de la VIII Jornadas de Ciencias del Mar. p. 83.

Rutllant, J. and H. Fuenzalida, 1991. *Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation*. Int. J. Of Climatology, 11 - 63 - 76.

Rutllant J., V. Montecino, J. Moraga and M. Farías, 1992. *Coastal Air - Sea Interaction and Primary Productivity Experiments at 29.5 S, 71.5 W*. Manuscrito inédito.

Rutllant, J., 1993. *Coastal lows and associated southerly wind events in north-central Chile*. Preprints IV Int. Conf. On Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Hobart, Australia. *American Meteorological Society*. p. 268 - 269.

Rutllant J., 1994. *On the generation of coastal lows in central Chile.* International Centre for Theoretical Physics. Internal Report IC/94/167. Miramare - Trieste, Italy. 10 pp.

Rutllant J., 1994b. *Modelling the day to day wind variability offshore central Chile at about 30 deg. south.* International Centre for Theoretical Physics. Internal Report IC/94/166. Miramare - Trieste, Italy. 20 pp.

Rutllant J., and R. Garreaud, 1995. *Meteorological air pollution potencial for Santiago, Chile: Towards an objective episode forecasting.* Environ. Monitor. Assess., 34, 223 - 244.

Rutllant J., 1997. *Day to day wind variability off point Lengua de Vaca (30° 15 S, 71° 40 W): A simple model.* Fifth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Pretoria, South Africa American Meteorological Society. 2.12.

Shaffer, G., Pizarro, O., Djurfeldt, L., Salinas, S. and Rutllant, J., 1997. *Circulation and low - frequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991 - 92 El Niño.* Journal of Physical Oceanography, vol. 27, Nº. 2, 217 -235.

Sievers, H. y N. Silva, 1973. *Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso.* Invest. Mar., Valparaíso, 4 (1): 1 - 16.

Silva, N. 1973. *Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso.* Invest. Mar., Valparaíso, 4 (3): 89 -112.

Sievers, H. y N. Silva, 1979. *Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a punta Curaumilla, Valparaíso, Chile.* Invest. Mar., Valparaíso 7 (1): 3 - 20.

Smith, R. L., 1983. *Peru coastal currents during El Niño: 1976 and 1982* . Science, 221, 1397 - 1399.

Strub, T., Mesias, J., Montecino, V., Rutllant, J y Salinas, S., 1996. *Coastal ocean circulation off western South America.* J. The Sea - vol. 10 B. 13 -16.

Vergara, J., H. Fuenzalida y J. Rutllant, 1988. *Desarrollo de un modelo numerico de surgencia costera.* Resumenes de la VIII Jornadas de Ciencias del Mar. p. 85 - 86.

Vergara, J., 1990. *La respuesta de un océanocontinuamente estratificado frente a un forzamiento observado.* Resumenes de la X Jornadas de Ciencias del Mar. p. 30 -31.

Vergara, J., 1992. *Simulación de un evento de surgencia costera a los 29,5 º S, Chile.* Invest. Pesq. 37: 73-87.